

# Distrito Metropolitano de Quito: Resultados del Análisis de Vulnerabilidad Climática para los sectores prioritarios.

---

Preparado para:

Climate and Developed Knowledge Network (CDKN) y la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito.

Elaborado por:

David Purkey, Juan Carlos Baca, Jairo Estacio, Laura Forni, Francisco Flores-Lopez, Nicholas Depsky, Hugo Romero, Katherine Tehelen.

*Stockholm Environment Institute (SEI)*

Revisado por:

Diego Enriquez Pabón y Nixon Narvaez

*Secretaría de Ambiente (SA)*



Febrero 2014



## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	4
LISTA DE TABLAS.....	8
PRESENTACIÓN.....	11
INTRODUCCIÓN.....	13
1.    Consideraciones generales de vulnerabilidad en el DMQ.....	13
2.    Revisión de la información climática utilizada en un análisis sectorial.....	14
3.    Descripción General de la Metodología Propuesta.....	15
SECTOR AGRICOLA.....	18
4.    2.1 La formulación de la evaluación de la vulnerabilidad del sector agrícola.	18
5.    2.2 Etapa 1: Proceso de construcción social del conocimiento .....	18
6.    2.3 Etapa 2: Definición de las preguntas clave de investigación.....	22
7.    2.4 Etapa3: Variables de vulnerabilidad (amenazas, exposición y sensibilidad)23	
8.    2.5 Conclusiones Sector Agricultura .....	47
9.    2.6 Mapas .....	49
SECTOR AGUA.....	53
10.   3.1 La formulación de la evaluación de la vulnerabilidad del sector agua.....	53
11.   3.2 Etapa 1: Proceso de construcción social del conocimiento .....	54
12.   3.3 Etapa 2: Definición de las preguntas clave de investigación.....	55
13.   Etapa3: Variables de vulnerabilidad (amenazas, exposición y sensibilidad)...	56
14.   Conclusiones Sector Agua.....	86
SECTOR ECOSISTEMAS.....	88
15.   4.1 La formulación de la evaluación de vulnerabilidad del sector ecosistemas88	

16.	4.2 Etapa 1: Proceso de construcción social del conocimiento .....	89
17.	4.3 Etapa 2: definición de las preguntas de investigación .....	89
18.	4.4 Etapa 3: Variables de vulnerabilidad (amenazas, exposición y sensibilidad)89	
19.	4.5 Conclusiones Sector Ecosistemas .....	113
SECTOR SALUD.....		115
20.	5.1 La formulación en la evaluación de la vulnerabilidad del sector salud...	115
21.	5.2 Etapa 1: Proceso de construcción social del conocimiento .....	115
22.	5.3 Etapa 2: Definición de las preguntas clave de la investigación .....	123
23.	5.4 Etapa 3: Variables de vulnerabilidad (amenazas, exposición y sensibilidad)124	
24.	5.5 Conclusiones Sector Salud .....	143
RIESGOS – INCENDIOS FORESTALES .....		145
25.	6.1 La formulación de la evaluación de vulnerabilidad en los estudios de incendios forestales en el DMQ? .....	145
26.	6.2 Etapa1: Proceso de construcción social del conocimiento .....	149
27.	6.3 Etapa 2: definición de las preguntas de investigación .....	153
28.	6.4 Etapa3: Variables de vulnerabilidad (amenazas, exposición y sensibilidad)154	
29.	6.5 Conclusiones Riesgos Forestales.....	176
PRINCIPALES CONCLUSIONES SOBRE LA VULNERABILIDAD DEL DMQ EN CINCO SECTORES PRIORITARIOS .....		178
BIBLIOGRAFIA .....		181
Anexos .....		185

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo de la Metodología de vulnerabilidad para el DMQ .....	16
Figura 2 Calendario de siembra de cultivos en el DMQ.....	19
Figura 3 Cultivos agrícolas en el Distrito Metropolitano de Quito.....	21
Figura 4 Representación espacial de las diferentes regiones climáticas en el DMQ.....	22
Figura 5 Ubicación geográfica de las estaciones climatológicas respecto al DMQ.....	27
Figura 6 Proyección del cambio mensual al año 2050 en temperatura mínima y máxima para la estación 003 Izombamba de acuerdo a la ruta de concentración RCP8.5.....	28
Figura 7 Proyección del cambio mensual al año 2050 en temperaturas mínimas y máximas para las estaciones 120 Cotopaxi-Clirsen, 188 Papallacta y 126 Tomalon-Tabacundo de acuerdo a la ruta de concentración RCP8.5.....	29
Figura 8 Cambios en temperatura media observada del DMQ en base a la estación de Izobamba para el periodo histórico de 1960 al 2006.....	30
Figura 9 Proyección espacial del cambio en temperaturas promedio al año 2050 para el DMQ de acuerdo a la ruta de concentración RCP8.5.....	31
Figura 10 Determinación del factor de reducción en crecimiento de cultivos anuales por efecto de la temperatura para la Zona Sub-templada.....	34
Figura 11 Impacto de la temperatura media del aire en el crecimiento de un cultivo agrícola hipotético con una Temperatura Base = 0 °C y una Temperatura Optima = 15 °C. Fuente: Neitsch, Arnold, Kiniry and Williams, 2011.....	35
Figura 12 Representación espacial del nivel de sensibilidad por efecto de temperatura en la asociación de cultivos agrícolas para el DMQ.....	38
Figura 13 Representación espacial de la vulnerabilidad al cambio en el ciclo de cultivos agrícolas para el DMQ.....	40
Figura 14 Composición de cultivos agrícolas por altitud y temperatura.....	42
Figura 15 Cultivos en bandas de elevación superiores.....	43
Figura 16 Mapa de principales cuencas hídricas aportantes del abastecimiento de agua potable del DMQ y zonas de servicio - Fuente: Villacis et al. 2012; Fernández 2013; EMAAP-Q.....	55

Figura 17 Temperatura promedio anual histórica para la región en °C (1960-2012).....	60
Figura 18 Rangos de precipitación histórica en las cuencas de captación (1970 - 2007).....	61
Figura 19 Porcentaje de ocupación de páramo como se tiene en el modelo WEAP de la cuenca de Guayllabamba (valores al año 2007) .....	62
Figura 20 Zonas de servicio de agua potable (zonas urbanas únicamente) en el DMQ.....	63
Figura 21 Mapa de población de las zonas de servicio en base al censo del 2010. Las estadísticas fueron tomadas directamente del Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el DMQ. ....	64
Figura 22 Esquema del modelo WEAP para la cuenca de Guayllabamba.....	65
Figura 23 Cobertura de demandas en base a condiciones históricas del modelo WEAP del período 2000-2010. En este se satisface en un 100% la demanda.....	67
Figura 24 Valores de temperatura promedio anual al año 205 en la región del DMQ. ....	69
Figura 25 Diferencia en temperatura media anual del periodo (1960 – 2012 al 2050) en la región del DMQ. ....	69
Figura 26 Rangos medios de precipitaciones en la simulación con periodos de sequía. En promedio se redujo un 34% la precipitación histórica en las cuencas de aporte. ....	71
Figura 27 Porcentaje de cobertura de Paramos al año 2050. Datos tomados del Modelo WEAP para la cuenca de Guayllabamba, cuya fuente original es TNC. ....	73
Figura 28 Reducción en % de área de páramos por cuenca de aporte en el DMQ .....	74
Figura 29 Cambio potencial de las zonas de páramos para el DMQ. Fuente: Sector Agricultura en este estudio. ....	75
Figura 30 Población futura de las zonas de servicio al año 2050 de acuerdo al Plan Maestro de EMAAP-Q.....	76
Figura 31 Cambio en % de población por zona de servicio al año 2050 en función de los pronósticos de crecimiento de población del Plan Maestro de EMAAP-Q.....	77
Figura 32 La sensibilidad de las áreas de servicio en base a incremento de población previsto para el año 2050.....	80

Figura 33 Escenario WEAP 1. Aumento de la población únicamente. Se satisface el 99.5% de la demanda de agua urbana de Quito, los tonos verdes indican diferencia de sensibilidad basada en aumento de la población.....	81
Figura 34 Escenario WEAP 2. Se considera un aumento de la temperatura y población. Se satisface el 99.0% de la demanda de agua urbana de Quito, los tonos verdes indican diferencia de sensibilidad basada en aumento de la población. ....	82
Figura 35 Escenario WEAP 3. Se considera un aumento de la temperatura, población, y la presencia de sequías. Se satisface el 90.0% de la demanda de agua urbana de Quito, los tonos rojos indican diferencia de sensibilidad basada en aumento de la población. ....	83
Figura 36 Escenario WEAP 4. Se considera un aumento en la temperatura, población, y el cultivo de los páramos.....	84
Figura 37 Escenario WEAP 5. Se considera el aumento de la temperatura, población, la presencia de sequías y el cultivo de los páramos. ....	85
Figura 38 Las cuatro categorías de ecosistemas analizadas en este estudio, según su cobertura en el 2009. Las áreas sin color representan cultivos o mancha urbana. ....	92
Figura 39. Conceptualización gráfica del modelamiento espacial para evaluar la vulnerabilidad de los ecosistemas frente a las amenazas no climáticas (antrópicas). ....	97
Figura 40 Conceptualización gráfica del modelamiento espacial para evaluar la vulnerabilidad de los ecosistemas frente a la amenaza climática de incremento de temperatura anual promedio. ....	100
Figura 41 Mapa de sensibilidad compuesta a las amenazas no climáticas .....	106
Figura 42 Mapa de vulnerabilidad a las amenazas no climáticas de los ecosistemas en estudio. No se muestran los remanentes de ecosistemas que al momento no son vulnerables. ....	107
Figura 43 Vulnerabilidad de los ecosistemas del DMQ frente a la amenaza climática de incremento de temperatura promedio.....	112
Figura 44 Número de casos de paludismo en el DMQ, 2001-2010.....	120
Figura 45 Número de casos de bronquitis en el DMQ, 2001-2010.....	121
Figura 46 Número de casos de asma en el DMQ, 2001-2010.....	121
Figura 47 Número de casos de enfermedades diarreicas en el DMQ, 2001-2010 .....	122

Figura 48 Mapa Climático DMQ .....	123
Figura 49 Distribución geográfica del Índice de sensibilidad y los indicadores correspondientes .....	130
Figura 50 Distribución geográfica del Índice de sensibilidad y los indicadores correspondientes .....	132
Figura 51 Distribución geográfica del Índice de Amenaza Climática, en función de los tipos de clima del DMQ.....	136
Figura 52 Distribución geográfica del Índice de Exposición Inferido .....	138
Figura 53 Distribución geográfica del Índice de Vulnerabilidad, en base a los índices de Sensibilidad, Exposición y Amenaza Climática .....	140
Figura 54 Cambios en el Clima. Clima Histórico vs. Clima Proyectado al 2050 .....	142
Figura 55 La susceptibilidad de incendios forestales en el DMQ.....	146
Figura 56 Proceso de construcción del modelos de riesgos de incendios forestales .....	155
Figura 57 Representación de las distancias de presión de actividades antrópicas con incendios ocurridos.....	161
Figura 58 Resultados cartográficos del cálculo de incendios ISMF para cada variable de actividad antrópica.....	162
Figura 59 Cálculo de la presión de inicio del fuego considerando la superficie de áreas quemadas recurrentes .....	164
Figura 60 Sensibilidad climática para el DMQ considerando los últimos 12 años bajo condiciones de variación climática observadas en los años 2010-2050.....	168
Figura 61 Sensibilidad climática para el DMQ considerando los últimos 52 años bajo condiciones de variación climática observadas en los años 1960 y 2012. ....	168
Figura 62 Estructura espacial del análisis de riesgo de incendios forestales del DMQ .....	170
Figura 63 La susceptibilidad de incendios forestales del DMQ.....	172
Figura 64 Factores de amenaza de incendios .....	172

Figura 65 Peligros de incendios forestales del DMQ por factores de susceptibilidad iniciación y propagación.....	172
Figura 66 Niveles de superficie afectada en el incendios severo del 2012 en el DMQ .....	173
Figura 67 Peligro de incendios forestales basado en predicción de 4 modelos de clima global desde 1900-2015.....	175

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Determinación de las Unidades de Calor (UC) promedio históricas del período de crecimiento de cultivos identificados en el DMQ en base a regiones para la estación de Izobamba (003).....	25
Tabla 2 Determinación de las Unidades de Calor (UC) promedio históricas del período de crecimiento de cultivos identificados en el DMQ para las estaciones climatológicas de Cotopaxi-Clirsen (120), Papallacta (188) y Tomalon-Tabacundo (126) .....	26
Tabla 3 Determinación del nivel de sensibilidad por efecto de temperatura en la asociación de cultivos agrícolas para el DMQ. Los valores numéricos resaltados en color negro, son los valores utilizados en el análisis. ....	37
Tabla 4 Determinación del nivel de sensibilidad del periodo de crecimiento en la asociación de cultivos agrícolas para el DMQ.....	39
Tabla 5 Superficie de cultivo por banda de elevación.....	44
Tabla 6 Nivel de sensibilidad en bandas de elevación. ....	45
Tabla 7 Niveles de exposición, sensibilidad y vulnerabilidad.....	46
Tabla 8 Áreas de cultivo en bandas de elevación .....	47
Tabla 9 Niveles de cobertura por escenario de modelación por década .....	78
Tabla 10 Ecosistemas que se analizan para la determinación de la vulnerabilidad ecosistémica frente a las amenazas no climáticas y a la amenaza climática. ....	91
Tabla 11 Amenazas consideradas para este estudio. ....	93

Tabla 12 Exposición de los diferentes ecosistemas a las amenazas no climáticas. ....	95
Tabla 13 Ponderación de las amenazas no climáticas en el modelamiento espacial. ....	96
Tabla 14 Ancho del efecto de borde en diferentes categorías de ecosistemas. ....	99
Tabla 15 Modificación del valor de vulnerabilidad calculado originalmente (promedio de los indicadores), según la fuerza de la amenaza climática. ....	101
Tabla 16 Matriz de la sensibilidad entendida desde la capacidad de recuperación del ecosistema en el área directamente destruida o degradada por una amenaza, expresada en categorías 1–5. ....	102
Tabla 17 Matriz de la sensibilidad entendida desde la capacidad de resiliencia y/o resistencia del ecosistema remanente contiguo al área afectada por una amenaza, expresada en categorías del 1–5. ....	104
Tabla 18 Matriz utilizada en el modelamiento espacial que sintetiza las dos formas de sensibilidad expresados en un promedio, donde 1 = ecosistema nada o poco sensible y 5 = ecosistema extremadamente sensible. ....	105
Tabla 19 Área (ha) de los diferentes ecosistemas en diferentes grados de vulnerabilidad frente a las amenazas no climáticas (antrópicas). ....	108
Tabla 20 Calificación cualitativa de la exposición de los ecosistemas analizados frente a la amenaza climática de incremento gradual de la temperatura promedio. ....	109
Tabla 21 Calificación cualitativa de la sensibilidad funcional de los ecosistemas analizados frente a la amenaza climática de incremento gradual de la temperatura promedio. ....	110
Tabla 22 Área (ha) de los diferentes ecosistemas en diferentes grados de vulnerabilidad frente a la amenaza climática de incremento de temperatura promedio. Las áreas se calculan en base a lo reportado en la Tabla 1. ....	111
Tabla 23 Correlación entre variables climáticas y diversos tipos de enfermedades. ....	125
Tabla 24 Pasos para el proceso de normalización de los indicadores. ....	128
Tabla 25 Tipos climáticos y rangos correspondientes. Fuente: (Narváez, 2014). ....	134
Tabla 26 Preguntas guía de la investigación para incendios forestales. ....	154
Tabla 27 Espacios antrópicos considerados como de presión e influencia a incendios. ....	157

Tabla 28 Estimación de zonas de presión de incendios en el DMQ.....	159
Tabla 29 Cálculo de Presión de Inicio de Fuego IPMF.....	163
Tabla 30 Estimación del indicador de Sensibilidad Climática para el DMQ* .....	167

## PRESENTACIÓN

Debido a la gran diversidad ambiental, social y cultural del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), estudios realizados en los últimos años identifican niveles de vulnerabilidad a los impactos del cambio climático, sobre todo eventos climáticos extremos como sequías y lluvias<sup>1</sup>. En este contexto, es preciso evaluar el grado de vulnerabilidad de los ecosistemas respecto a su función, estructura y dinámica biótica-abiótica a fin de contribuir a la protección y conservación del patrimonio natural del DMQ.

El propósito principal del presente estudio es evaluar la situación actual de vulnerabilidad del DMQ y examinar los factores que pueden contribuir a la vulnerabilidad al año 2050, en cinco sectores prioritarios: agua, salud, agricultura, ecosistemas y riesgos<sup>2</sup>. Se analiza la vulnerabilidad presente y futura de los sectores de interés frente a amenazas no climáticas de origen antrópico, y amenazas climáticas como el incremento gradual de la temperatura promedio anual.

Primeramente, se revisa el desempeño del sistema de suministro de agua potable en la zona metropolitana de Quito, a partir de la pregunta clave: ¿Qué tan vulnerable es el suministro de las fuentes de agua actual y futura para el abastecimiento de agua potable del DMQ? El objetivo es proyectar escenarios posibles actuales y futuros en cuanto a una posible disminución del recurso hídrico en las fuentes de captación y sus consecuencias en el abastecimiento de agua en el DMQ.

Por otro lado, el estudio de riesgos se focaliza en el análisis de los incendios forestales, con el uso de indicadores climáticos específicos (por ejemplo presión antrópica para la iniciación y propagación del fuego y susceptibilidad de la cobertura vegetal a los incendios). Al respecto, se presenta un mapa de “peligros de incendios forestales potenciales para el DMQ”, herramienta útil para analizar el riesgo de ecosistemas, fuentes de agua y agricultura en zonas periféricas y rurales.

---

<sup>1</sup> file:///C:/Users/Laura/Downloads/Plan%20de%20Acci%C3%B3n%20Clim%C3%A1tico%20DMQ%202012-2016%20(1).pdf

<sup>2</sup> En este estudio se considera solamente riesgos a incendio forestales.

Finalmente, la vulnerabilidad del sector agrícola es estudiada a partir de las interacciones entre cambio climático y agricultura en su relación con la seguridad alimentaria y el incremento de la frontera agrícola. Se analiza específicamente la vulnerabilidad de los cultivos en el DMQ y también la expansión de la frontera agrícola hacia los páramos ante el cambio de las temperaturas promedio.

En todos los casos, el análisis se basa en un estudio sectorial de vulnerabilidad y constituye la primera evaluación del grado de exposición y sensibilidad de los ecosistemas del DMQ frente a diferentes amenazas antrópicas y climáticas, a partir de la sistematización de datos espaciales del Distrito e información ecológica genérica.

Si bien los índices sectoriales de vulnerabilidad al cambio climático de los cinco sectores priorizados en el estudio permiten compilar un Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático del DMQ, la investigación adolece de vacíos y limitaciones, y deberá ser profundizada en el futuro con estudios específicos sobre la biología/ecología de las miles de especies existentes en el Distrito como así también un estudio integrado del uso y manejo de los recursos naturales frente a la amenaza climática. El informe destaca algunos de los espacios vacíos de investigación tienen que deben ser priorizados para profundizar nuestro conocimiento de los desafíos y desarrollar las políticas necesarias para obtener unas medidas claras de adaptación al cambio climático de la región y sus habitantes.

## INTRODUCCIÓN

### 1. CONSIDERACIONES GENERALES DE VULNERABILIDAD EN EL DMQ

La gran diversidad ambiental, social y cultural del municipio del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) constituye el principal patrimonio de la región. Su gente, su biodiversidad, sus innumerables recursos naturales, sus fuentes de agua, su favorable clima y su riqueza cultural, sumados a su privilegiada ubicación geográfica, hacen de esta región un territorio incomparable. Sin embargo, si bien el DMQ es reconocido como un territorio con muchos beneficios ambientales, sociales y económicos, resulta altamente vulnerable a los impactos del cambio climático.

Los eventos climáticos extremos como sequías y lluvias están entre las amenazas principales y son las más visibles. Es el caso del evento El Niño “que tuvo un costo de alrededor de 3 mil millones de dólares, sin considerar la pérdida de vidas humanas, ecosistemas y, en general, daños al ambiente (“Noticias Del Ecuador Y Del Mundo | EL COMERCIO” 2010). Se trata de eventos con posibilidades de volver a ocurrir, lo cual acentúa la vulnerabilidad natural y social del país ante estos fenómenos.

Como respuesta a esta situación de vulnerabilidad, las contingencias del cambio climático se contemplan en la planificación de las instituciones y en el trabajo interinstitucional. Se propone concretamente trabajar en el análisis de vulnerabilidad y la gestión de riesgos, la adaptación y mitigación del cambio climático, y la generación de una línea base, entre otros (Zambrano-Barragán 2009).

En este sentido, el propósito de este análisis es representar la situación actual de vulnerabilidad en el DMQ y examinar los factores que pueden contribuir a la vulnerabilidad en el futuro, a lo largo de 2050, en cinco sectores prioritarios: *agua, salud, agricultura, ecosistemas y riesgos*.

El análisis se basa en un estudio sectorial de vulnerabilidad que se desarrolla en cuatro etapas: (i) definición de preguntas de investigación y unidades de análisis; (ii) identificación y selección de variables de vulnerabilidad (*Amenazas, Exposición, Sensibilidad*); (iii) análisis espacial que permita integrar la información del territorio con las variables de vulnerabilidad, y (iv) finalmente se evalúa la capacidad de adaptación institucional y se brindan algunas líneas guía de adaptación.

El análisis de vulnerabilidad sectorial una herramienta valiosa que brinda información al municipio e instituciones públicas, evidencia la condición de vulnerabilidad del municipio frente al cambio climático. Muchos son los sectores identificados como estratégicos, pero en

este estudio se trabaja en aquellos identificados como prioritarios: los sectores agua y ecosistemas. Cabe resaltar que el agua es reconocida como patrimonio nacional estratégico esencial para la vida, mientras que en el sector ecosistemas se prioriza una gestión integradora del patrimonio natural urbano y rural, en cumplimiento de los derechos de la naturaleza y el desarrollo humano. Respecto al sector agrícola, la vulnerabilidad ha sido abordada desde las interacciones entre agua, cambio climático y agricultura en su relación con la seguridad alimentaria y el avance de la frontera agrícola.

Por otro lado, se evidencia una relación estrecha entre salud y cambio climático, la proliferación de enfermedades relacionadas con los eventos extremos del clima y el hacinamiento en zonas urbanas debido a que allí se encuentra la mayoría de centros hospitalarios. Debido a la alta mortalidad infantil -especialmente en las zonas rurales, el aumento desmedido de la demanda como consecuencia del incremento de las enfermedades el sector salud precisa de medidas de adaptación adecuadas.

## **2. REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA UTILIZADA EN UN ANÁLISIS SECTORIAL**

En el Reporte WP1 “Análisis Integrado de Amenazas Relacionada con el Cambio Climático, aspectos naturales y socioeconómicos” se describe un conjunto de datos climáticos a escala reducida de las Parroquias del DMQ con temperatura media mínima y máxima mensual y precipitación total mensual en una resolución de 0.5°. Para la corrección del sesgo se utilizó el método de desagregación espacial (BCSD) de Maurer et al. 2007 que consigna los datos de clima a una resolución gruesa de los GCMs (Modelos de Clima Global) y reduce la escala a la resolución más fina de 0.5° para varios modelos de circulación general, y para muchos de estos GCMs y miembros de ensamblaje múltiple.

Además, la producción de los GCMs fue obtenida y procesada por el método BCSD para dos emisiones futuras o Rutas de Concentración Representativas (RCPs). Esto dio como resultado un conjunto de datos de proyecciones futuras para que investigadores y profesionales en la Parroquia del DMQ puedan estudiar la vulnerabilidad y analizar las condiciones de adaptación. Para la emisión o Ruta Concentración Representativa mayor (RCP8.5), se prevé que las temperaturas aumenten de 4°C a 5°C hasta fines de siglo, mientras que los cambios en las precipitaciones son más inciertos, ya que la colección de modelos climáticos muestra aumentos y disminuciones.

El experto de clima David Yates<sup>3</sup> y el equipo del SEI valoran que el análisis climático mencionado es muy apropiado para la región por las siguientes razones:

---

<sup>3</sup> National Center for Atmospheric Research, Colorado USA

- Se consideró utilizar los indicadores de Climdex<sup>4</sup>; pero las retículas son demasiado gruesas para ser empleadas en el DMQ, cuya resolución de la cuadrícula oscila entre 3.275 y 2,5 grados.. Estos datos fueron desarrollados para estudios a un nivel nacional más que local. La zona del DMQ (kilómetros cuadrados) cubriría sólo una fracción de una celda de la cuadrícula. De ahí que los indicadores reticulares del cambio climático histórico de ClimDex no se pueden usar a la escala espacial del DMQ. La información de ClimDex en línea también contiene datos de nivel de la estación; sin embargo, sólo cuatro se encuentran disponibles en el Ecuador, y ninguna en el área del DMQ.
- Los datos de Climdex revisados en el proceso de búsqueda de información para el desarrollo del estudio sectorial no proveían información a futuro de los indicadores de clima. Sin embargo, el INAMHI ha utilizado los datos de Climdex junto con un modelo Japonés TL959, donde se ha logrado una reducción de escala de 20 km aproximadamente y se formulan algunas proyecciones al año 2039 (Chimborazo and Guitarra 2010 p. 3; Edwards 2012; Hinkel 2011). Si bien esta “resolución es muy alta comparada con otras salidas de otros modelos, aún no es lo suficientemente buena para reconocer los distintos microclimas existentes en el Ecuador, especialmente en el callejón interandino donde se ubica el DMQ” (Chimborazo and Guitarra 2010 - limitaciones p. 104). Entre sus recomendaciones, el reporte del INAMHI sugiere utilizar otros modelos “para llevar a cabo un ensamble multi-modelo”. El trabajo desarrollado por SEI utiliza un análisis de ensamblajes múltiples mencionado anteriormente.

### 3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Para calcular la vulnerabilidad del DMQ se aplicó la definición del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change 2001) según la cual la vulnerabilidad es función del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático y de la variación a la que un sistema está expuesto, de su sensibilidad y de su capacidad de adaptación. En el análisis de vulnerabilidad del DMQ se integrarán los conceptos de exposición y sensibilidad al cambio climático para ofrecer lineamientos de adaptación. El eje transversal de la metodología definida como Riesgos utiliza los conceptos detallados en la Estrategia Internacional para la Reducción de desastres EIRD<sup>5</sup> para establecer indicadores de exposición y susceptibilidad. Una descripción detallada del enfoque metodológico se describe en el Reporte del WP2-3 titulado “Estructura de la

---

<sup>4</sup> Reticulares, índices ClimDex se han derivado para el mundo en busca de los períodos históricos y están disponibles en <http://www.climdex.org/datasets.html>

<sup>5</sup> <http://www.stopdisastersgame.org/es/isdr.html>

Metodología Para la Estimación de la Vulnerabilidad al Cambio Climático en el Distrito Metropolitano de Quito”.

A continuación se presenta el diagrama de flujo que guía la implementación de la metodología de vulnerabilidad frente al cambio climático para el DMQ (Figura 1).

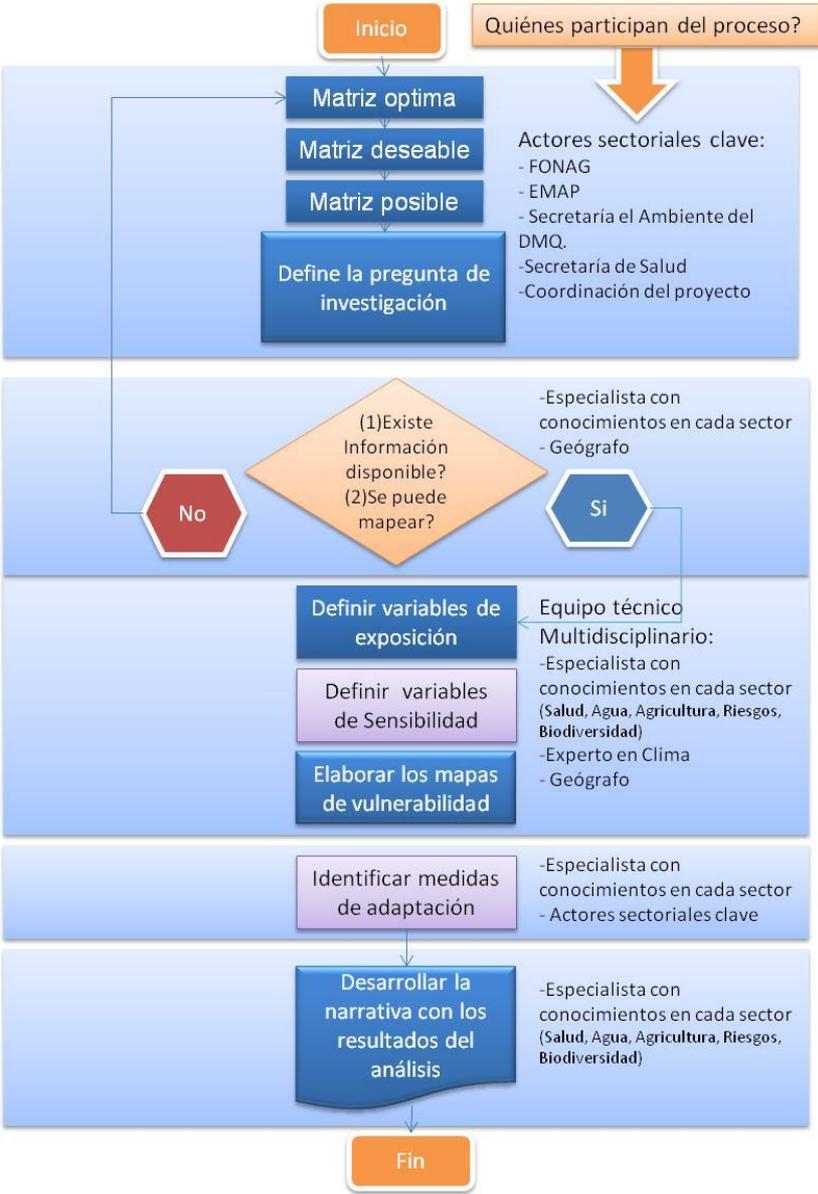


Figura 1 Diagrama de flujo de la Metodología de vulnerabilidad para el DMQ

En las próximas sesiones se mostrará cómo se aplicó la metodología propuesta en un estudio participativo con los actores clave de cada sector prioritario. El análisis climático utilizado para cada sector está basado en el reporte WP1 “Análisis Integrado de Amenazas Relacionada con el Cambio Climático, aspectos naturales y socioeconómicos”, y la metodología utilizada es la propuesta por el reporte WP2-3 “Estructura de la Metodología Para la Estimación de la Vulnerabilidad al Cambio Climático en el Distrito Metropolitano de Quito”. Los resultados obtenidos en cada sector serán utilizados para desarrollar lineamientos y recomendaciones para documentar la capacidad de adaptación futura al cambio climático en cada sector, información que será complementada con un taller participativo e incluidas en el reporte WP8 titulado “Capacidad de Adaptación y medidas de adaptación futuras propuestas para los sectores prioritarios”.

El estudio de riesgos se ha focalizado básicamente en los análisis de incendios forestales. Considerando indicadores de presión antrópica para la iniciación del fuego, de propagación con datos climáticos y de la susceptibilidad de la cobertura vegetal a los incendios, se produjo un mapa denominado “peligros de incendios forestales potenciales para el DMQ”. Esta herramienta es de utilidad para los análisis de riesgo en zonas periféricas y rurales del Distrito. Por ende, será de utilidad para los sectores de ecosistemas, fuentes de agua y agricultura, principalmente. Los análisis de riesgo versarán sobre los resultados finales de la vulnerabilidad de cada sector, considerando que los peligros de incendios son un factor agravante que puede aumentar o no la vulnerabilidad por exposición. Este análisis cualitativo de riesgo será abordado al final del presente reporte y resaltaré, de forma comparativa, las posibles variaciones de la vulnerabilidad y algunas consecuencias observables en términos de efectos y daños en cada sector.

### 4. 2.1 LA FORMULACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL SECTOR AGRÍCOLA

En el Ecuador, y en específico en el DMQ, la vulnerabilidad al cambio climático en el sector agrícola se evidencia en diferentes frentes. Por mencionar algunos tenemos los cambios en la duración del ciclo de crecimiento de cultivos; cambios en la incidencia de heladas; alteraciones potenciales en el control natural de plagas y enfermedades; cambios en la incidencia de temperaturas promedio, temperaturas mínimas y máximas extremas, y modificaciones en el patrón de precipitación y períodos de sequías, etc.

Este estudio se enfoca en el análisis de la vulnerabilidad de los cultivos agrícolas en la zona del DMQ ante el efecto del cambio de temperaturas promedio, su efecto en la duración del ciclo del crecimiento de cultivos, y el efecto del estrés por temperatura en cultivos. Se estudia también la vulnerabilidad de la frontera agrícola por efectos de la variabilidad en temperatura y la exposición de las zonas de páramos y bosques a cambios en dicha frontera agrícola.

### 5. 2.2 ETAPA 1: PROCESO DE CONSTRUCCIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO

En el DMQ la vulnerabilidad al cambio climático en el sector agrícola se evidencia en: i) los cambios en la duración del ciclo de crecimiento de cultivos, ii) cambios en la incidencia de heladas, iii) alteraciones potenciales en el control natural de plagas y enfermedades, iv) cambios en la incidencia de temperaturas promedio, v) modificaciones de temperaturas mínimas y máximas extremas, vi) cambios en el patrón de precipitación y períodos de sequías, entre otros. Estos frentes son definidos en los análisis de variabilidad climática del DMQ, pero requieren ser analizados con más detalle y mayor grado de especialización.

El análisis de vulnerabilidad del sector agrícola contempla el estudio de los cultivos tradicionales que son producidos en las zonas rurales del DMQ ante el efecto del cambio de las temperaturas promedio, su efecto en la duración del ciclo del crecimiento, y el efecto del estrés ocasionado por temperatura. Por otro lado, es de particular interés establecer la vulnerabilidad de la frontera agrícola en la zona de paramos por efecto de la variabilidad en temperatura.

Los diferentes tipos de cultivos y su relación con la elevación sobre el nivel del mar denotan intrínsecamente la vulnerabilidad del sector agrícola ante la variación climática en las diferentes zonas del DMQ. Esta vulnerabilidad está asociada al tipo de cultivo y su elevación sobre el nivel del mar. Por consiguiente, los cultivos agrícolas son afectados en diferente

grado, en función de su elevación sobre el nivel del mar. Se han identificado en el DMQ tres diferentes zonas agrícolas (templada, subtemplada, y subtropical), de acuerdo al calendario de siembra del DMQ (Ver Figura 2).

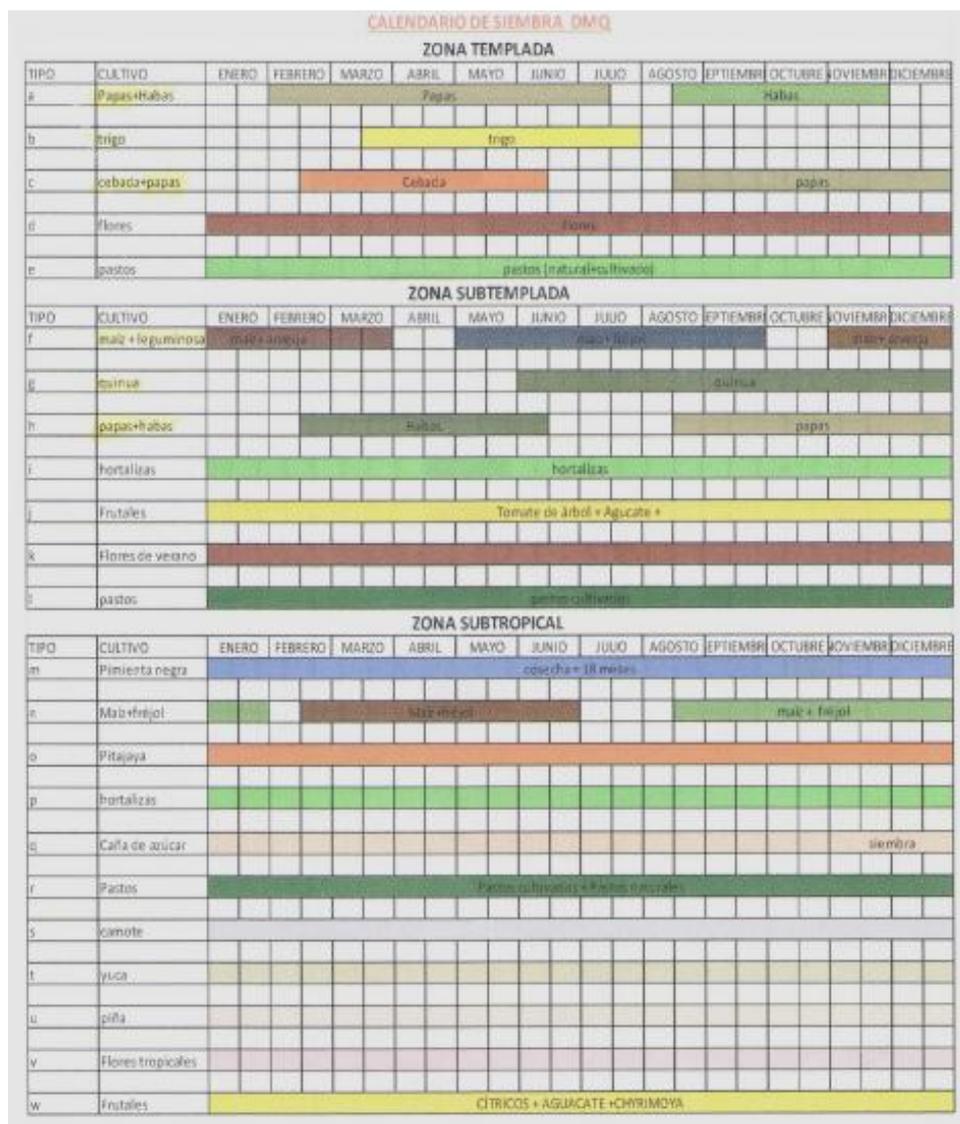


Figura 2 Calendario de siembra de cultivos en el DMQ

A partir del mapa de cobertura vegetal del DMQ, se logró inferir los diferentes tipos de cultivos predominantes así como sus asociaciones, los cuales se listan a continuación:

- Aguacate-Chirimoya-Frutales

- Caña de Azúcar-Frutales-Maíz
- Frutales - Caña de Azúcar -Palmito
- Frutales-Maíz-Cultivos
- Maíz-Fréjol
- Maíz-Fréjol-Habas-Hortalizas
- Papa-Haba-Maíz-Pastos
- Papa-Maíz-Haba-Pastos
- Papa-Maíz-Pastos

Según el mapa de clases de clima<sup>6</sup> de la Secretaria de Ambiente, en el DMQ se han identificado 11 diferentes tipos de climas que se encuentran distribuidos en las zonas agrícolas del Distrito. De forma general, éstos son principalmente los climas montanos (húmedo, semi-húmedo y seco, semi-seco) y tropicales. La distribución espacial de estos climas en el DMQ se presenta en la Figura 3.

---

<sup>6</sup> Mapa de Clima conforme al IPCC y modificada por la Unidad de Gestión del Conocimiento de la Secretaría de Ambiente, 2013, N. Narváez.

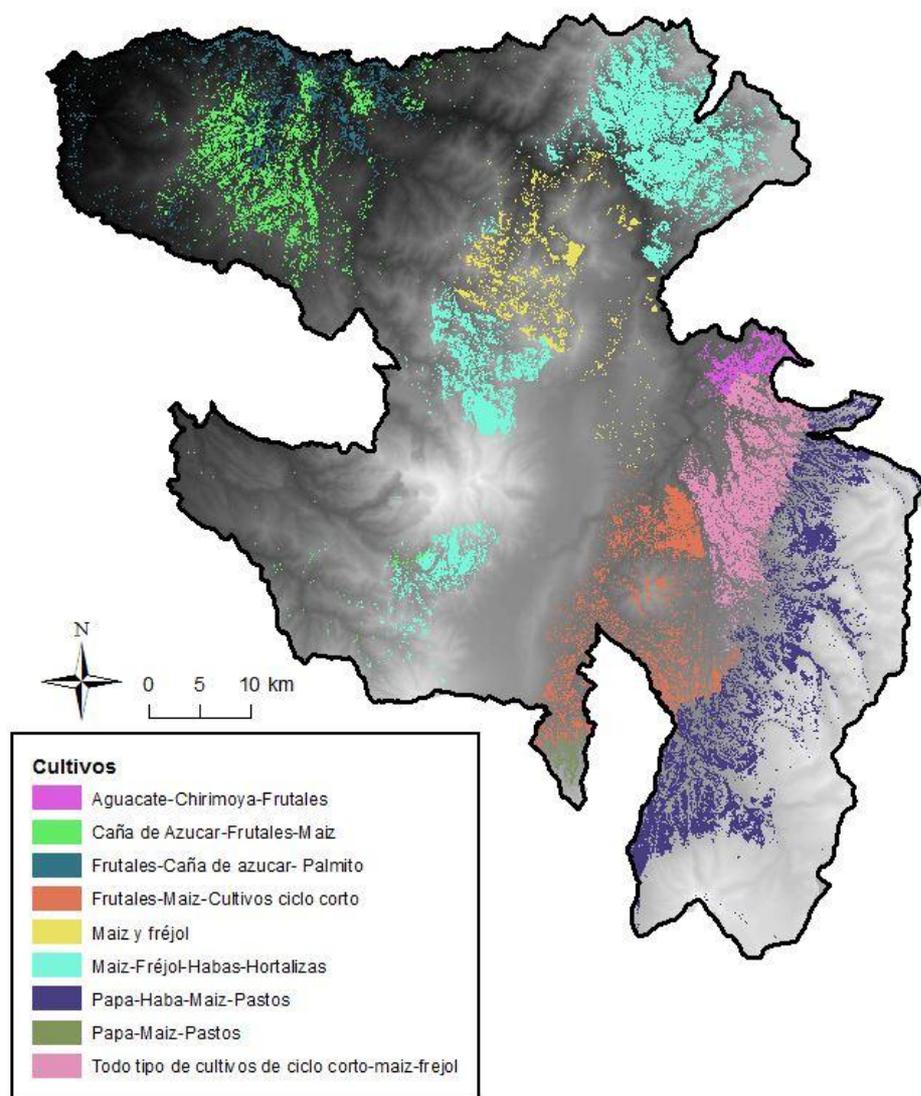


Figura 3 Cultivos agrícolas en el Distrito Metropolitano de Quito.

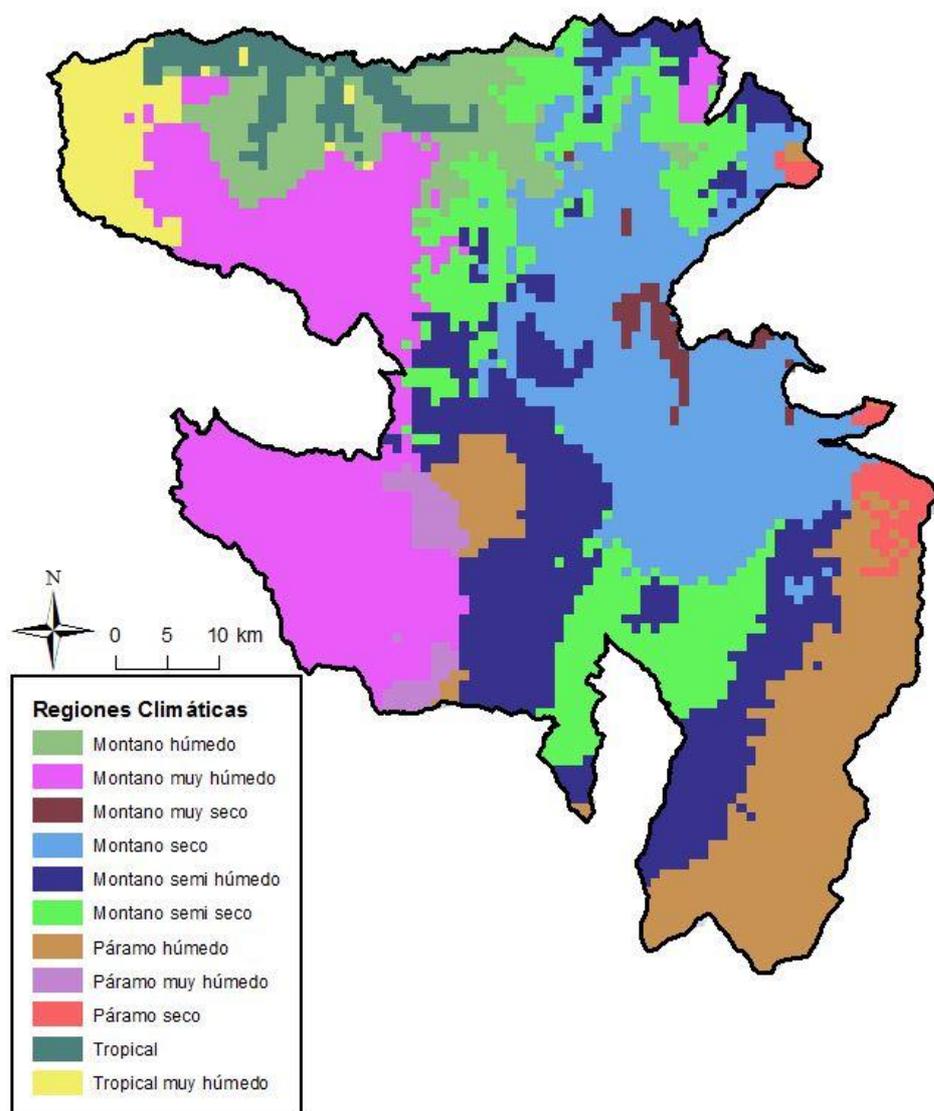


Figura 4 Representación espacial de las diferentes regiones climáticas en el DMQ

## 6. 2.3 ETAPA 2: DEFINICIÓN DE LAS PREGUNTAS CLAVE DE INVESTIGACIÓN

Se pronostica que los cultivos en el DMQ experimenten en cierto grado los efectos del clima futuro, específicamente el incremento en las temperaturas promedio, así como cambios en los patrones de precipitación. Se estima que las alteraciones en las temperaturas pueden beneficiar o perjudicar a los cultivos, dependiendo la temperatura óptima de desarrollo y la temperatura base de crecimiento específica de cada uno de los cultivos. También se espera que ciertos cultivos, como la papa, expandan su frontera agrícola afectando a las zonas de los páramos. Esto supone que el área de páramos sea expuesta y potencialmente se reduzca, ocasionando una reducción en los caudales que alimentan los ríos, arroyos y quebradas.

En este escenario se plantean los siguientes cuestionamientos:

1. ¿Cuál es la vulnerabilidad de los cultivos agrícolas a la variabilidad climática?
2. ¿Cuál es la sensibilidad de los cultivos y cómo pueden verse afectados en la duración de los ciclos de crecimiento por cambios en las temperaturas?
3. ¿Cómo la variabilidad climática afectará la exposición de los cultivos a cambios en temperatura y su efecto en el crecimiento; así como los cambios de la frontera agrícola y, por consiguiente, la exposición de los páramos a cambios en dicha frontera?

### **7. 2.4 ETAPA3: VARIABLES DE VULNERABILIDAD (AMENAZAS, EXPOSICIÓN Y SENSIBILIDAD)**

Se describen a continuación los diferentes componentes de estudio en el sector agricultura, considerando las correspondientes variables de estudio e indicadores de sensibilidad y exposición. En el Ecuador la vulnerabilidad al cambio climático en el sector agricultura se evidencia con mayor énfasis en los cultivos de ciclo corto, en los cuales la variación climática puede demorar o incrementar las lluvias, y causar pérdidas económicas significativas (Edwards 2012). Por ejemplo, la cobertura de riego en cultivos en el país representó el 0.4% del total de la superficie cultivada (5.9 millones has) en 2009, lo que indica que la totalidad de la superficie cultivada depende de condiciones climáticas para el suministro de las necesidades hídricas.

Se espera que el cambio climático impacte en el sector agrícola del Ecuador en diferentes formas, dependiendo del tipo de cultivo y del escenario climático en consideración. Es probable que para el año 2030 haya un déficit en la producción de arroz de entre 3 y 60% si no se implementan medidas de adaptación al cambio climático. Para el cultivo de papa, un escenario predice una reducción de un 34%, mientras que un escenario más optimista pronostica un incremento en la producción. También se presagia que el cultivo de soya puede ser impactado negativamente, mientras que el maíz de grano puede resultar beneficiado (Ministry of the Environment 2000).

En un contexto general, se evidencian impactos directos que inciden en el rendimiento y en los ciclos de crecimiento de los cultivos agrícolas, ocasionados principalmente por el incremento de las temperaturas. Estos cambios afectan directamente la acumulación de Unidades de Calor (UC) necesarias para el crecimiento de los cultivos de verano (Abril – Agosto), como también las UC para cultivos de invierno (Noviembre Mayo), donde la acumulación rápida de UC sucede aceleradamente por el incremento de la temperatura.

Por otro lado, la menor acumulación de Horas Frio (HFI) en invierno afectaría rendimientos debido a la insuficiencia de HFI requeridas por ciertos frutales; así como Ondas de Calor durante las Fases Reproductivas (OCFR). Para el caso específico del Distrito que se encuentra en la zona ecuatorial y que posee rangos altitudinales de entre 500 y 4950 msnm, con temperaturas promedio de entre 2 a 23 °C y precipitaciones entre 355 a 4000 mm de lluvia anual, se descarta el estudio de las HFI teniendo en cuenta que las temperaturas futuras se incrementarán, para lo cual nos enfocaremos en el estudio de las UC. Además, debe considerarse que el incremento de temperaturas favorece la presencia de algunas plagas, hongos y enfermedades que perjudican el desarrollo de cultivos. En el caso de la variación en precipitación, ésta tiene afectaciones importantes debido a la alteración de los volúmenes de lluvia y las épocas y duración de sequías.

La exposición de los cultivos al incremento de la temperatura es un tema de suma importancia a desarrollar. Por consiguiente, la estimación de las UC de cultivos es fundamental para determinar cómo los periodos de crecimiento de cultivos pueden ser afectados.

Las UC se definen como la diferencia existente entre la temperatura promedio diaria y la temperatura base de crecimiento del cultivo. La temperatura base de crecimiento de cultivos se define como la temperatura mínima para el crecimiento vegetativo de los cultivos agrícolas, la cual es específica para cada tipo de cultivo (Arnold, J. G. et al. 2011).

$$UnidaddeCalor = \left( \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - TempBasedeCultivo$$

Las UC se determinan para las fechas de siembra y cosecha de los cultivos y la diferencia entre ambas determina las UC necesarias para el ciclo de crecimiento en función de la temperatura base de cada cultivo específico.

$$UnidadesdeCalordeCrecimiento = UC_{Cosecha} - UC_{Siembra}$$

En la Tabla 1 se presentan las correspondientes UC promedio históricas requeridas para el crecimiento de los cultivos identificados en las tres grandes zonas climáticas del Ecuador (templada, subtemplada, y tropical) y que para el DMQ corresponden a los climas Montano húmedo, Montano seco y Tropical muy húmedo, según el IPCC.

Estas unidades de calor son calculadas en base a la información de temperatura existente a un nivel diario para la estación climática 003 (Izobamba), con un record histórico diario (aunque no constante) de 1960 a 2011. En la última columna de la Tabla 1 se expresa el valor promedio histórico (UC del ciclo de cultivo). De forma similar, se calcularon las UC promedio

históricas para tres estaciones climatológicas adicionales: Cotopaxi-Clirsen (120), Papallacta (188) y Tomalón-Tabacundo (126), las cuales se presentan en la Tabla 2. En la Figura 5 se detalla la ubicación geográfica de estas cuatro estaciones climatológicas respecto al DMQ.

Zona Templada	Siembra		Cosecha		Temp Base (°C)	Temp Opt (°C)	UC Siembra (Temp Base)	UC Cosecha (Temp Base)	UC Ciclo de Cultivo (Temp Base)
	Fecha	Día Juliano	Fecha	Día Juliano					
Papa	1-Feb	32	15-Jul	196	7	17	242	1467	1226
Haba	16-Aug	228	30-Nov	334	10	27	1021	1492	471
Trigo	16-Mar	75	31-Jul	212	0	18	1090	3069	1979
Cebada	16-Feb	47	15-Jun	166	0	15	683	2411	1728
Papa	16-Aug	228	31-Dec	365	7	17	1704	2726	1021
Pastos	1-Jan	1	31-Dec	365	12	25	3	918	915
<b>Zona SubTempada</b>									
Maiz	1-Nov	305	31-Mar	90	8	25	1976	2949	974
Arveja	1-Nov	305	31-Mar	90	1	15	4111	6134	2024
Maiz	1-May	121	30-Sep	273	8	25	791	1768	977
Frejol	1-May	121	30-Sep	273	10	27	549	1222	673
Quinua	1-Jun	152	31-Dec	365	0	15	2210	5281	3070
Haba	16-Feb	47	15-Jun	166	10	27	213	751	539
Papa	16-Aug	228	31-Dec	365	7	17	1704	2726	1021
Hortalizas (tomate)	1-Jan	1	31-Dec	365	10	22	5	1631	1626
Aguacate	1-Jan	1	31-Dec	365	4	13	11	3821	3810
Pastos	1-Jan	1	31-Dec	365	12	25	3	918	915
<b>Zona Tropical</b>									
Maiz	16-Feb	47	30-Jun	181	8	25	307	1178	871
Frejol	16-Feb	47	30-Jun	181	10	27	213	816	604
Maiz	16-Aug	228	31-Jan	31	8	28	1476	2563	1087
Frejol	16-Aug	228	31-Jan	31	10	27	1021	1772	751
Hortalizas (tomate)	1-Jan	1	31-Dec	365	10	22	5	1631	1626
Cana de Azúcar	1-Jan	1	31-Dec	365	11	25	4	1268	1264
Pastos	1-Jan	1	31-Dec	365	12	25	3	918	915
Camote	1-Jan	1	31-Dec	365	14	24	1	391	390
Yuca	1-Jan	1	31-Dec	365	7	17	8	2726	2718
Pina (limón)	1-Jan	1	31-Dec	365	13	30	2	612	610
Citricos (limón)	1-Jan	1	31-Dec	365	13	30	2	612	610

Tabla 1 Determinación de las Unidades de Calor (UC) promedio históricas del período de crecimiento de cultivos identificados en el DMQ en base a regiones para la estación de Izobamba (003)

Tabla 2 Determinación de las Unidades de Calor (UC) promedio históricas del período de crecimiento de cultivos identificados en el DMQ para las estaciones climatológicas de Cotopaxi-Clirsen (120), Papallacta (188) y Tomalon-Tabacundo (126)

Zona Templada	Siembra		Cosecha		Temp Base	Temp Opt	UC Siembra	UC Cosecha	Cotopaxi-Clirsen (120)	Papallacta (126)	Tomalon-Tabacundo (188)
	Fecha	Día Jualiano	Fecha	Día Jualiano	(°C)	(°C)			UC Ciclo de Cultivo	UC Ciclo de Cultivo	UC Ciclo de Cultivo
Papa	1-Feb	32	15-Jul	196	7	17	165	1007	360	1561	495
Haba	16-Aug	228	30-Nov	334	10	27	498	725	38	685	117
Trigo	16-Mar	75	31-Jul	212	0	18	913	2569	1240	2221	1346
Cebada	16-Feb	47	15-Jun	166	0	15	571	2024	1096	1990	1206
Papa	16-Aug	228	31-Dec	365	7	17	1164	1859	290	1316	445
Pastos	1-Jan	1	31-Dec	365	12	25	1	328	29	1637	170
<b>Zona SubTempada</b>											
Maiz	1-Nov	305	31-Mar	90	8	25	1248	1872	214	1356	367
Arveja	1-Nov	305	31-Mar	90	1	15	3383	5056	1231	2406	1401
Maiz	1-May	121	30-Sep	273	8	25	510	1117	186	1178	272
Frejol	1-May	121	30-Sep	273	10	27	276	593	54	875	124
Quinua	1-Jun	152	31-Dec	365	0	15	1857	4414	1910	3449	2102
Haba	16-Feb	47	15-Jun	166	10	27	104	376	53	800	125
Papa	16-Aug	228	31-Dec	365	7	17	1164	1859	290	1316	445
Hortalizas (tomate)	1-Jan	1	31-Dec	365	10	22	2	795	150	2359	375
Aguacate	1-Jan	1	31-Dec	365	4	13	8	2954	1848	4542	2189
Pastos	1-Jan	1	31-Dec	365	12	25	1	328	29	1637	170
<b>Zona Tropical</b>											
Maiz	16-Feb	47	30-Jun	181	8	25	195	756	186	1154	291
Frejol	16-Feb	47	30-Jun	181	10	27	104	406	60	886	136
Maiz	16-Aug	228	31-Jan	31	8	28	936	1624	223	1458	396
Frejol	16-Aug	228	31-Jan	31	10	27	498	863	65	1122	192
Hortalizas (tomate)	1-Jan	1	31-Dec	365	10	22	2	795	150	2359	375
Cana de Azucar	1-Jan	1	31-Dec	365	11	25	2	516	41	1996	274
Pastos	1-Jan	1	31-Dec	365	12	25	1	328	29	1637	170
Camote	1-Jan	1	31-Dec	365	14	24	1	127	22	1021	19
Yuca	1-Jan	1	31-Dec	365	7	17	5	1859	777	3450	1111
Pina (limon)	1-Jan	1	31-Dec	365	13	30	1	215	25	1322	86
Citricos (limon)	1-Jan	1	31-Dec	365	13	30	1	215	25	1322	86

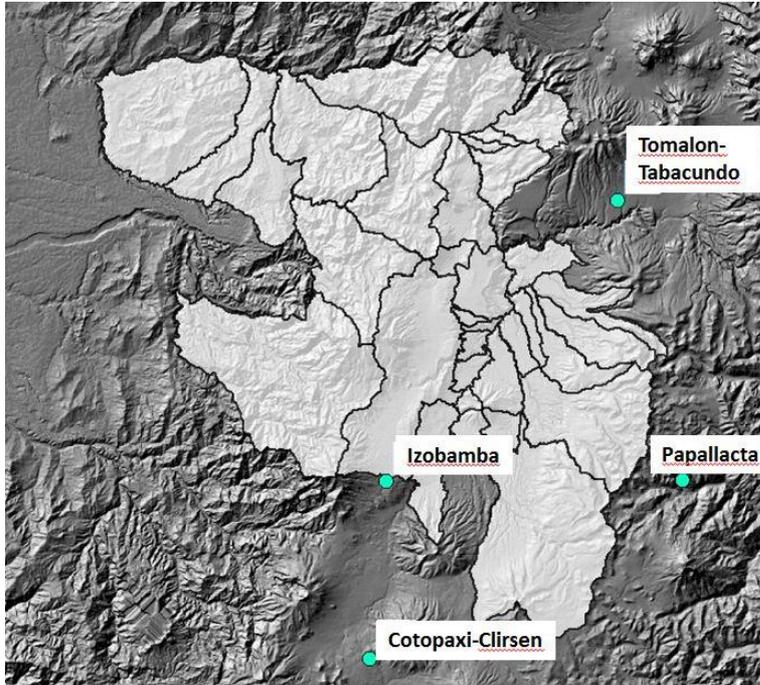


Figura 5 Ubicación geográfica de las estaciones climatológicas respecto al DMQ.

Un siguiente paso es la determinación de las mismas UC con el uso de las temperaturas mínimas y máximas proyectadas hasta el año 2050, para de esta forma determinar el nivel de sensibilidad de los cultivos expuestos al incremento de las temperaturas. Este ejercicio fue aplicado en las cuatro estaciones climatológicas como se presenta más adelante. Con esto se puede inferir la sensibilidad del ciclo de crecimiento de cultivos agrícolas a cambios en las temperaturas.

En este contexto, para entender el procedimiento de generación de información climática proyectada para el año 2050 en términos de precipitación y temperatura mínima y máxima se sugiere consultar el documento titulado “Distrito Metropolitano de Quito: Análisis integrado de amenazas relacionadas con el cambio climático, aspectos naturales y socioeconómicos”<sup>7</sup>. Este documento describe la generación de información meteorológica de precipitación y temperatura para las emisiones futuras o Rutas de Concentración Representativas (RCPs). Este análisis dio lugar a un conjunto de escenarios potenciales más adversos a enfrentar en un futuro para estudiar la vulnerabilidad y el análisis de la adaptación.

---

<sup>7</sup> Yates et al. 2014. WP1 Distrito Metropolitano de Quito: Análisis integrado de amenazas relacionadas con el cambio climático, aspectos naturales y socioeconómicos. Stockholm Environment Institute.

Los análisis desarrollados en este proceso se basan en la ruta mayor de emisión, la cual es la RCP8.5. Se seleccionó esta ruta a sugerencia explícita del personal de la Secretaría de Ambiente del DMQ, con el objetivo de determinar la vulnerabilidad de cultivos agrícolas ante el escenario potencial más adverso a enfrentar en un futuro. Según esta ruta, se prevé que a finales del siglo XXI las temperaturas aumenten de 4 a 5°C, mientras que el cambio en las precipitaciones será más incierto, ya que la colección de modelos climáticos muestra aumentos y disminuciones. Los cambios en temperatura mínima y máxima para el año 2050 a nivel mensual para la estación 003 Izobamba se detallan en la Figura 6 y en la Figura 7 se presentan las tres estaciones restantes. Se presentan los datos de la estación 003 Izobamba de manera independientemente debido a que es la más cercana y con condiciones orográficas más similares al DMQ (ver Figura 4).

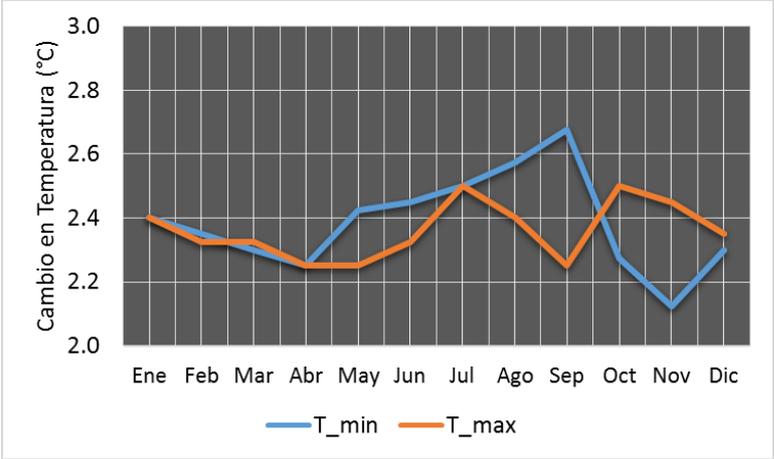


Figura 6 Proyección del cambio mensual al año 2050 en temperatura mínima y máxima para la estación 003 Izobamba de acuerdo a la ruta de concentración RCP8.5

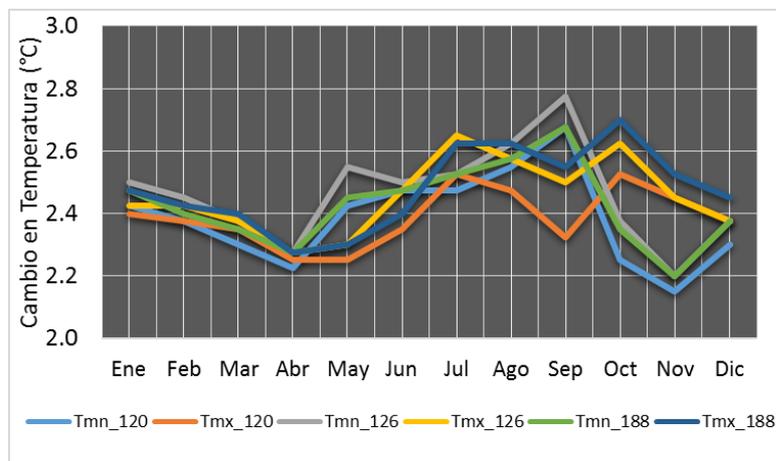


Figura 7 Proyección del cambio mensual al año 2050 en temperaturas mínimas y máximas para las estaciones 120 Cotopaxi-Clirsen, 188 Papallacta y 126 Tomalon-Tabacundo de acuerdo a la ruta de concentración RCP8.5

En la Figura 7 se representa la distribución espacial de los cambios de temperatura media observada en el periodo histórico 1960 -2006 para todo el DMQ (Ministerio del Ambiente del Ecuador - CIFEN 2011). Estos cambios están basados en la información de la Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático; la cual muestra un incremento de aproximadamente 0.4 °C en la zona de Mashpi y Oso Andino, mientras que en la zona de Cerro Puntas se observa un incremento de 0.8°C (similar al promedio de incremento a nivel nacional). De igual forma, en la Figura 8 se detallan los cambios pronosticados espacialmente hasta el año 2050, los cuales van desde 2.3 a 2.5 °C. Dichos valores son los cambios de temperatura con respecto al año 2012 (consultar: Distrito Metropolitano de Quito: Análisis integrado de amenazas relacionadas con el cambio climático, aspectos naturales y socioeconómicos<sup>8</sup>).

---

<sup>8</sup> Yates et al. 2014. WP1 Distrito Metropolitano de Quito: Análisis integrado de amenazas relacionadas con el cambio climático, aspectos naturales y socioeconómicos. Stockholm Environment Institute.

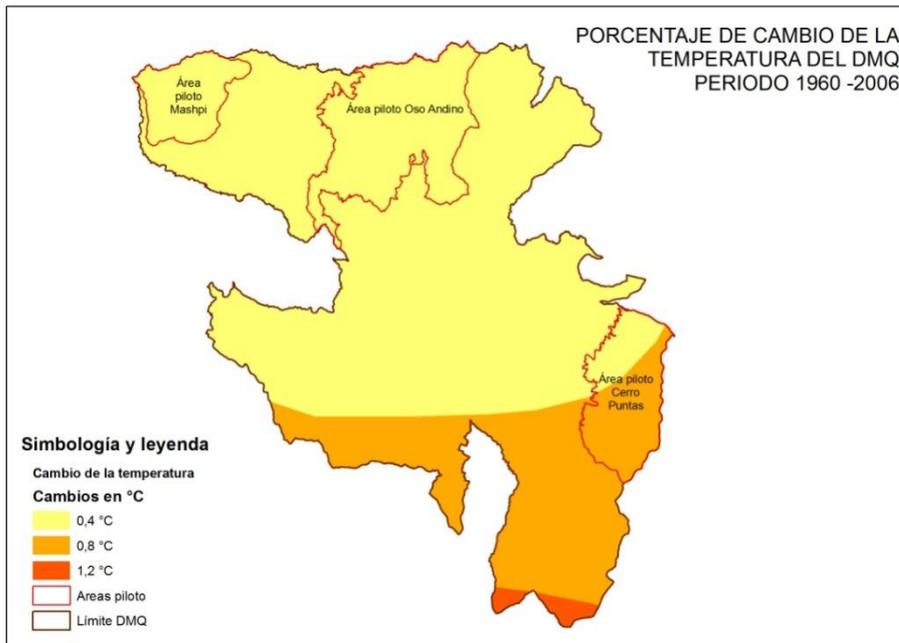


Figura 8 Cambios en temperatura media observada del DMQ en base a la estación de Izobamba para el periodo histórico de 1960 al 2006.

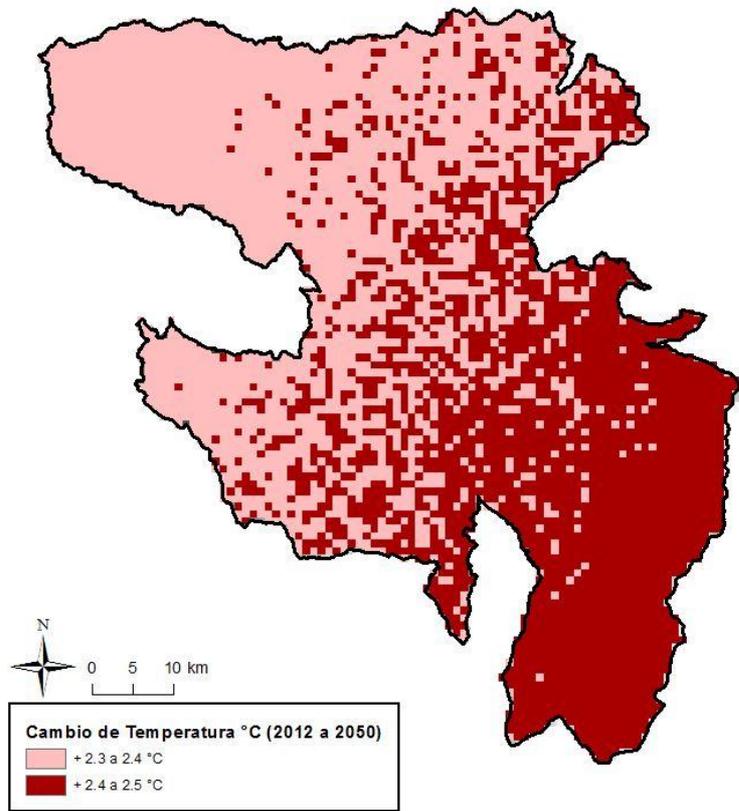
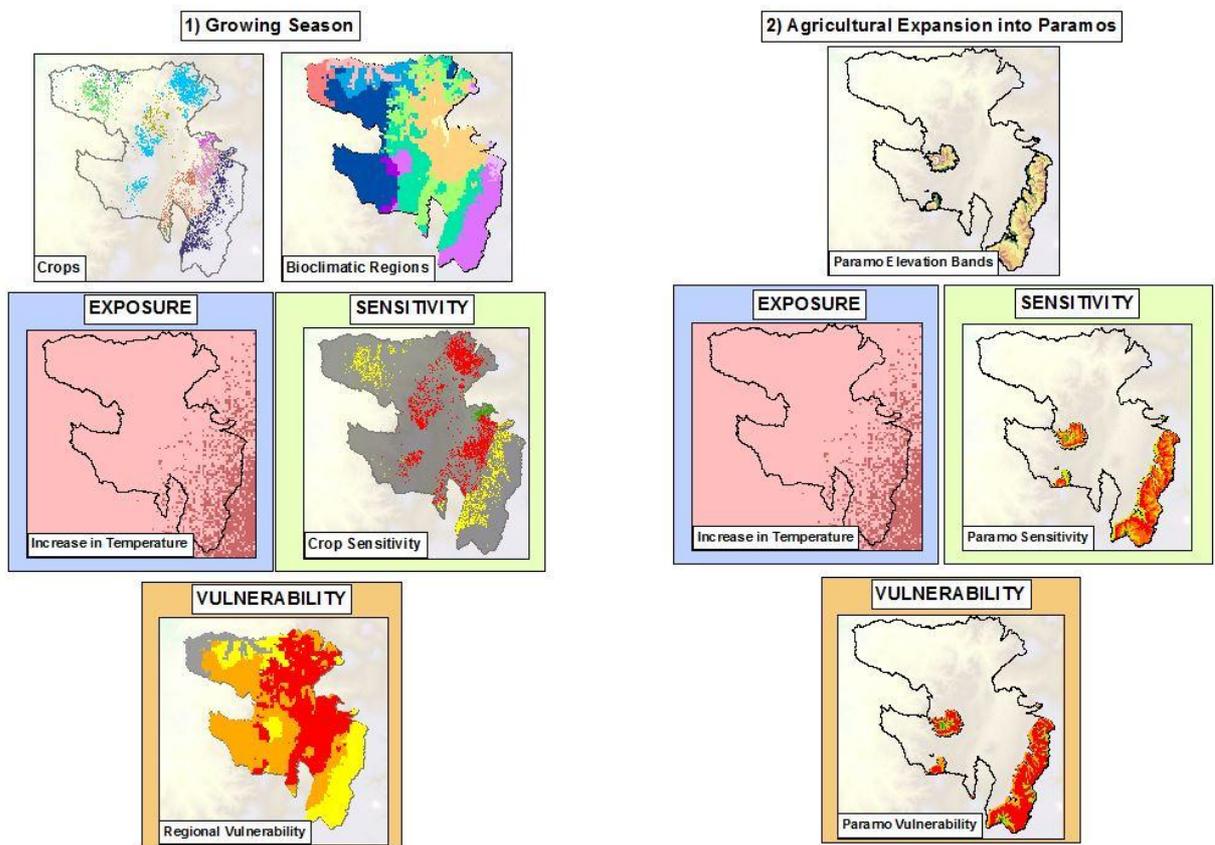


Figura 9 Proyección espacial del cambio en temperaturas promedio al año 2050 para el DMQ de acuerdo a la ruta de concentración RCP8.5



Conceptualización gráfica del modelamiento espacial para evaluar la vulnerabilidad en sector agrícola DMQ.

## SENSIBILIDAD DEL SECTOR AGRICULTURA

Se determinó la sensibilidad del sector agricultura tomando en cuenta el nivel en el que está siendo afectado, positivamente o negativamente, por alteraciones relacionadas con el clima, específicamente temperatura. Esto dio como resultado el estudio de dos componentes de sensibilidad: (I) Sensibilidad de los cultivos agrícolas a cambios de temperatura y su efecto en crecimiento y producción, y (II) Sensibilidad del ciclo de crecimiento de cultivos agrícolas a cambios de temperatura. Se evaluaron ambos niveles de sensibilidad en cultivos individuales y su asociación de acuerdo al mapa de cobertura vegetal (Secretaría de Ambiente Quito 2011) de la Secretaría del Ambiente para el DMQ.

Sensibilidad de los cultivos agrícolas a cambios de temperatura y su efecto en el crecimiento y la producción

Se midió la sensibilidad de cultivos a la exposición de cambios de temperatura a partir de la determinación del estrés de temperatura o factor de reducción de crecimiento por temperatura (Neitsch et al. 2011):

$$RCT = Exp \left( -0.1054 * \frac{TOPC - TX}{2 * (TX - TBSC)} \right)$$

Donde

RTC: factor de reducción de crecimiento por temperatura (adimensional)

TOPC: Temperatura optima de desarrollo para el cultivo (°C)

TBSC: Temperatura base de desarrollo del cultivo (°C)

TX: Temperatura diaria promedio (°C)

Se puede inferir el nivel de sensibilidad de los cultivos con la implementación del factor de reducción de crecimiento por temperatura a un paso de tiempo diario durante el ciclo de crecimiento de cultivos. La determinación de dicho factor se realizó con información promedio histórica (1960 – 2011) de temperatura de la Estación 003 Izobamba. Posterior a ello, se hizo el mismo ejercicio con proyecciones de temperatura al año 2050 siguiendo la ruta de concentración RCP 8.5 que determina un cambio en las temperaturas (Ver Figura 3). Se analizaron los cultivos de la zona montana subtemplada con su respectivo periodo de crecimiento (Figura 9).

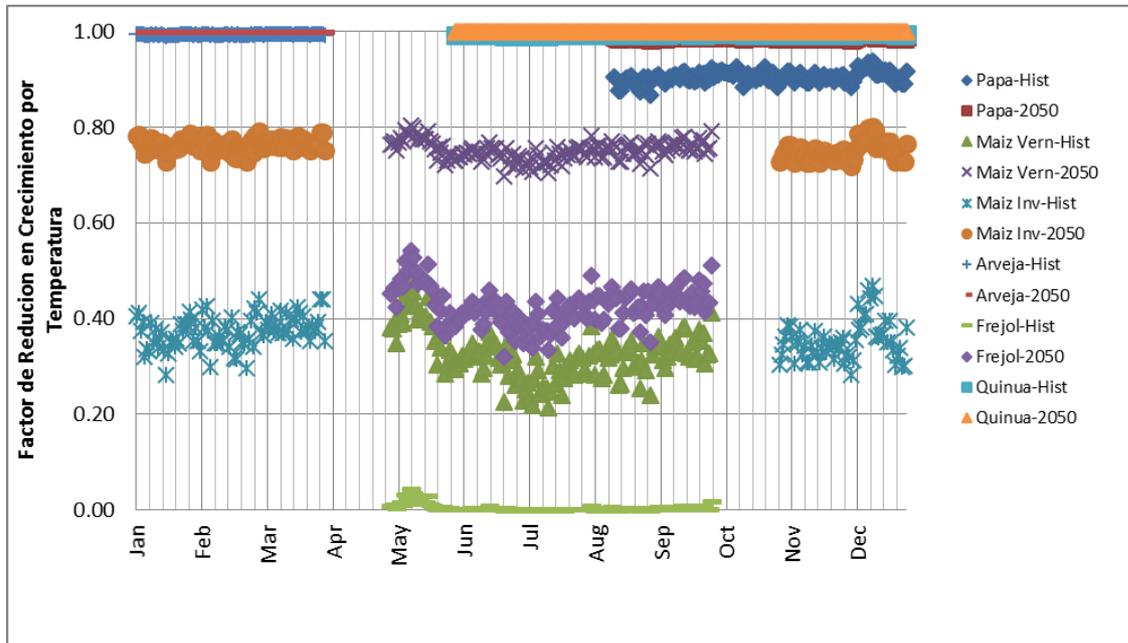


Figura 10 Determinación del factor de reducción en crecimiento de cultivos anuales por efecto de la temperatura para la Zona Sub-templada.

Un factor de reducción de crecimiento por temperatura con valor 1 indica no reducción, mientras que un factor de reducción de crecimiento por temperatura de valor 0 sugiere reducción completa.

Como se puede observar en la Figura 10, el nivel de sensibilidad de los cultivos a la exposición de temperatura es positivo. Por ejemplo, el cultivo de Maíz de Verano presenta un factor de reducción menor durante el periodo histórico, comparado con el año 2050, lo que indica una condición de desarrollo de los cultivos más óptima, conforme se incrementen las temperaturas promedio. Esta afirmación es válida solamente para el periodo al año 2050; posterior a ello no sabemos cómo la sensibilidad de los cultivos se verá alterada.

La explicación en base las temperaturas del DMQ, es que las temperaturas están por debajo de las temperaturas óptimas de desarrollo. En otras palabras, las temperaturas se ubican en el rango izquierdo de la curva en la Figura 11 de un cultivo hipotético. Con el incremento en las temperaturas, estas temperaturas se acercan a la temperatura óptima de desarrollo o la superan un poco, pero no lo suficiente para producir un efecto negativo (lado derecho de la curva en Figura 11).

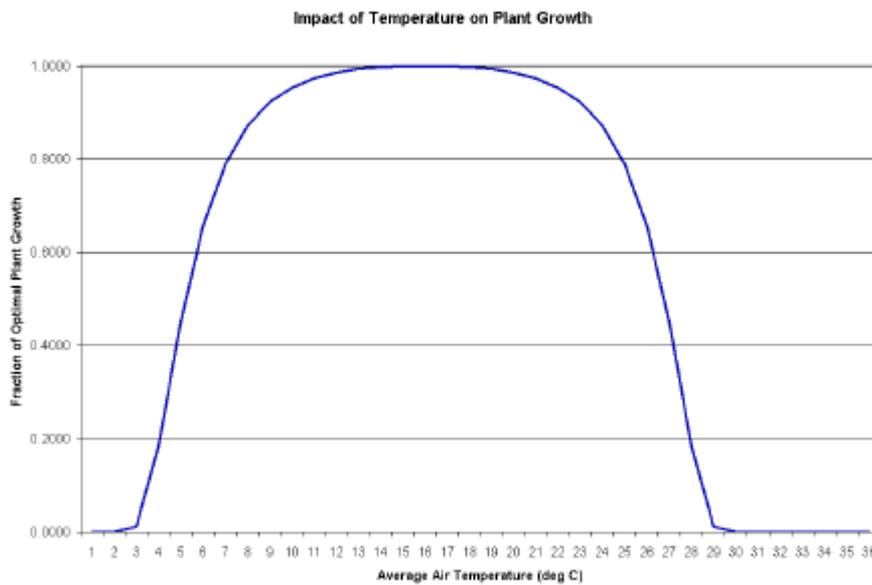


Figura 11 Impacto de la temperatura media del aire en el crecimiento de un cultivo agrícola hipotético con una Temperatura Base = 0 °C y una Temperatura Optima = 15 °C. Fuente: Neitsch, Arnold, Kiniry and Williams, 2011.

Una práctica agrícola común en el DMQ es la asociación de cultivos, razón por la cual es necesario realizar un análisis más específico para calcular los niveles de sensibilidad de cultivos en condiciones más reales. Para esto se tienen identificados los diferentes tipos de asociación de cultivos, los cuales se presentan en la Tabla 3 con sus respectivos factores de reducción de crecimiento por temperatura promediados. El nivel de exposición se define en base a la siguiente clasificación propuesta por personal técnico de SEI.

Factor de reducción de crecimiento por Temperatura	Nivel de Sensibilidad
1 - 0.75	Bajo
0.75 - 0.5	Medio
< 0.5	Alto

En la Tabla 3, los datos del área de cultivos, elevación promedio y temperatura promedio en banda de elevación fueron obtenidos a partir de procesos de análisis SIG del mapa de cobertura vegetal (Secretaria de Ambiente Quito 2011) proporcionado por la Secretaria del

Ambiente de Quito, el modelo de elevación digital del DMQ y el mapa de clima<sup>9</sup>. En la Figura 12 se detalla la representación espacial del nivel de sensibilidad de cultivos agrícolas asociados.

---

<sup>9</sup> Mapa de Clima conforme al IPCC y modificada por la Unidad de Gestión del Conocimiento de la Secretaría de Ambiente, 2013, N. Narváez.

Tabla 3 Determinación del nivel de sensibilidad por efecto de temperatura en la asociación de cultivos agrícolas para el DMQ. Los valores numéricos resaltados en color negro, son los valores utilizados en el análisis.

Abreviacion	Cultivos	Temp Base (°C)	Temp Optima (°C)	Area (km2)	Elev Promedio (m)	Temp Promedio en Banda de Elevacion (°C)	Factor de reducción de crecimiento por Temperatura	Nivel de Sensibilidad
							1 = No Reduccion, 0 = Reduccion Completa	
Ag_Ch_Fr	Aguacate	4	13	18.99	2236	16.2	0.95	Bajo
	Chirimoya							
	Frutales (Citricos)	13	30					
	Promedio	8.5	21.5					
Ca_Fr_Ma	Cana de Azucar	11	25	79.42	1496	18.4	0.89	Bajo
	Frutales (Citricos)	13	30					
	Maiz	8	25					
	Promedio	10.7	26.7					
Fr_Ca_Pa	Frutales (Citricos)	13	30	43.6	1027	20.4	0.93	Bajo
	Cana de Azucar	11	25					
	Palmito							
	Promedio	12.0	27.5					
Fr_Ma_CC	Frutales (Citricos)	13	30	32	2413	15.8	0.63	Medio
	Maiz	8	25					
	Cult Ciclo Corto (Haba)	10	27					
	Promedio	10.3	27.3					
Ma_Fj	Maiz	8	25	38.43	2545	14.5	0.63	Medio
	Frejol	10	27					
	Promedio	9	26					
Ma_Fj	Maiz	8	25	1.66	2601	15.3	0.74	Medio
	Frejol	10	27					
	Promedio	9	26					
Ma_Fj_Ha_Hc	Maiz	8	25	174.36	2493	14	0.52	Medio
	Frejol	10	27					
	Haba	10	27					
	Hortalizas (Tomate)	10	22					
	Promedio	9.5	25.3					
Pa_Ha_Ma_Pc	Papa	7	17	30.32	3228	10	0.00	Alto
	Haba	10	27					
	Maiz	8	25					
	Pasto	12	25					
	Promedio	9.3	23.5					
Pa_Ma_Ha_Pc	Papa	7	17	100.08	3323	8.9	0.00	Alto
	Maiz	10	27					
	Haba	8	25					
	Pasto	12	25					
	Promedio	9.3	23.5					
Pa_Ma_Pa	Papa	7	17	5.88	2978	12.1	0.32	Alto
	Maiz	8	25					
	Pasto	12	25					
	Promedio	9.0	22.3					
CC_Ma_Fr	Cult Ciclo Corto (Haba)	10	27	45.11	2624	14.6	0.39	Alto
	Maiz	8	25					
	Frutales (Citricos)	13	30					
	Promedio	10.3	27.3					
CC_Ma_Fj	Cult Ciclo Corto (Haba)	10	27	96.44	2534	15.2	0.68	Medio
	Maiz	8	25					
	Frejol	10	27					
	Promedio	9.3	26.3					

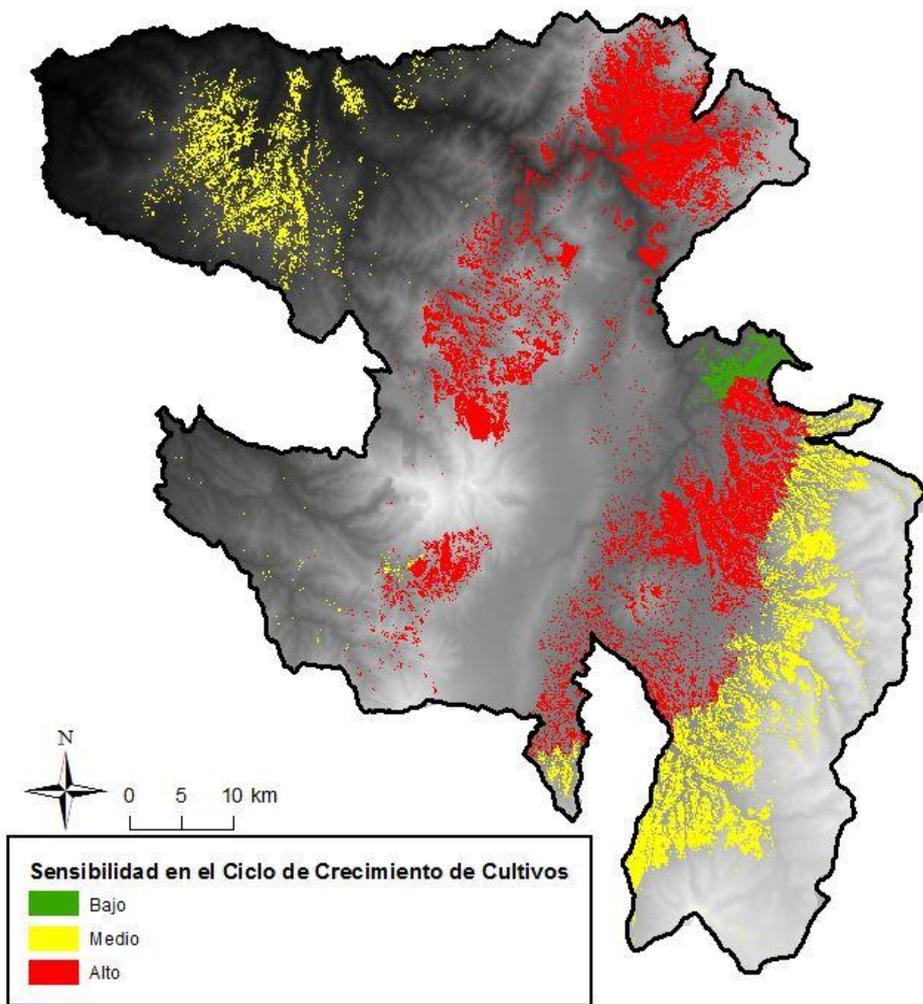


Figura 12 Representación espacial del nivel de sensibilidad por efecto de temperatura en la asociación de cultivos agrícolas para el DMQ

#### SENSIBILIDAD DEL CICLO DE CRECIMIENTO DE CULTIVOS AGRÍCOLAS A CAMBIOS EN TEMPERATURA

Una segunda sensibilidad de los cultivos agrícolas identificada para el DMQ es el efecto del cambio de las temperaturas sobre el periodo de crecimiento de cultivos, análisis que se fundamenta en el cálculo de las unidades de calor y su acumulación. Para este análisis se identifican los diferentes tipos de asociación de cultivos con su promedio histórico (1960-2011) de días de crecimiento calculados en base al calendario agrícola del DMQ. En base a la acumulación histórica del número de unidades de calor del calendario agrícola, se definió la misma fecha de siembra para el periodo futuro (2050), mientras que la fecha de cosecha fue determinada en base a la acumulación de las unidades de calor históricas usando la información de temperatura al 2050.

La fecha de cosecha se determina cuando la acumulación de las unidades de calor históricas se alcanza con las temperaturas a futuro. Posterior a ello, se cuantificaron el número de días efectivos del periodo de crecimiento para el periodo histórico y futuro. Las fechas se compararon y se determinó el cambio en porcentaje del periodo de crecimiento de cultivos, los cuales se presentan en la Tabla 3. En este caso, la sensibilidad es negativa, ya que existe un decremento en la duración del periodo de crecimiento, esto debido a la acumulación rápida de las unidades de calor por el incremento en temperaturas. El nivel de exposición se define en base a la siguiente clasificación propuesta por personal técnico de SEI.

Tipo de Cambio	Nivel de Sensibilidad
20 - 30	Bajo
30 - 40	Medio
40 - 50	Alto

Zona SubTemplada, Estacion 003 Izobamba	# Días de Ciclo de Cultivo Historico (1960-2011)						Promedio # Días Cultivo	Cambio en Porcentaje de # Días de Cultivo	Nivel de Sensibilidad
	Aguacate	Maiz 1	Maiz 2	Cultivos ciclo corto (haba)		Frejol			
Aguacate-Chirimoya-Frutales	365						365	-23	Bajo
Caña de Azucar-Frutales-Maiz		150	152				151	-36	Medio
Frutales-Caña de azucar- Palmito									
Frutales-Maiz-Cultivos ciclo corto(haba)		150	152	119			140	-40	Alto
Maiz y fréjol		150	152			152	151	-42	Alto
Maiz-Frejol		150	152			152	151	-42	Alto
Maiz-Fréjol-Habas-Hortalizas		150	152	119	152		143	-43	Alto
Papa-Haba-Maiz-Pastos		150	152	119		137	140	-38	Medio
Papa-Maiz-Haba-Pastos		150	152	119		137	140	-38	Medio
Papa-Maiz-Pastos		150	152			137	146	-35	Medio
Todo tipo de cultivos ciclo corto-maiz-frutales		150	152	119			140	-40	Alto
Todo tipo de cultivos de ciclo corto-maiz-frejol		150	152	119	152		143	-43	Alto
Zona SubTemplada, Estacion 003 Izobamba	# Días de Ciclo de Cultivo RCP8.5 (2050)						Promedio # Días Cultivo		
Aguacate	Maiz 1	Maiz 2	Cultivos ciclo corto (haba)		Frejol	Papa			
Aguacate-Chirimoya-Frutales	282						282		
Caña de Azucar-Frutales-Maiz		97	95				96		
Frutales-Caña de azucar- Palmito									
Frutales-Maiz-Cultivos ciclo corto(haba)		97	95	60			84		
Maiz y fréjol		97	95			72	88		
Maiz-Frejol		97	95			72	88		
Maiz-Fréjol-Habas-Hortalizas		97	95	60	72		81		
Papa-Haba-Maiz-Pastos		97	95	60		94	87		
Papa-Maiz-Haba-Pastos		97	95	60		94	87		
Papa-Maiz-Pastos		97	95			94	95		

Tabla 4 Determinación del nivel de sensibilidad del periodo de crecimiento en la asociación de cultivos agrícolas para el DMQ.

La vulnerabilidad de los cultivos agrícolas se determina a partir de la sensibilidad de los cultivos agrícolas, en combinación con las diferentes regiones climáticas propuestas por la Secretaría del Ambiente de Quito (Figura 2), y los cambios correspondientes al periodo de crecimiento. Dicha vulnerabilidad del periodo de crecimiento se representa espacialmente en la Figura 13.

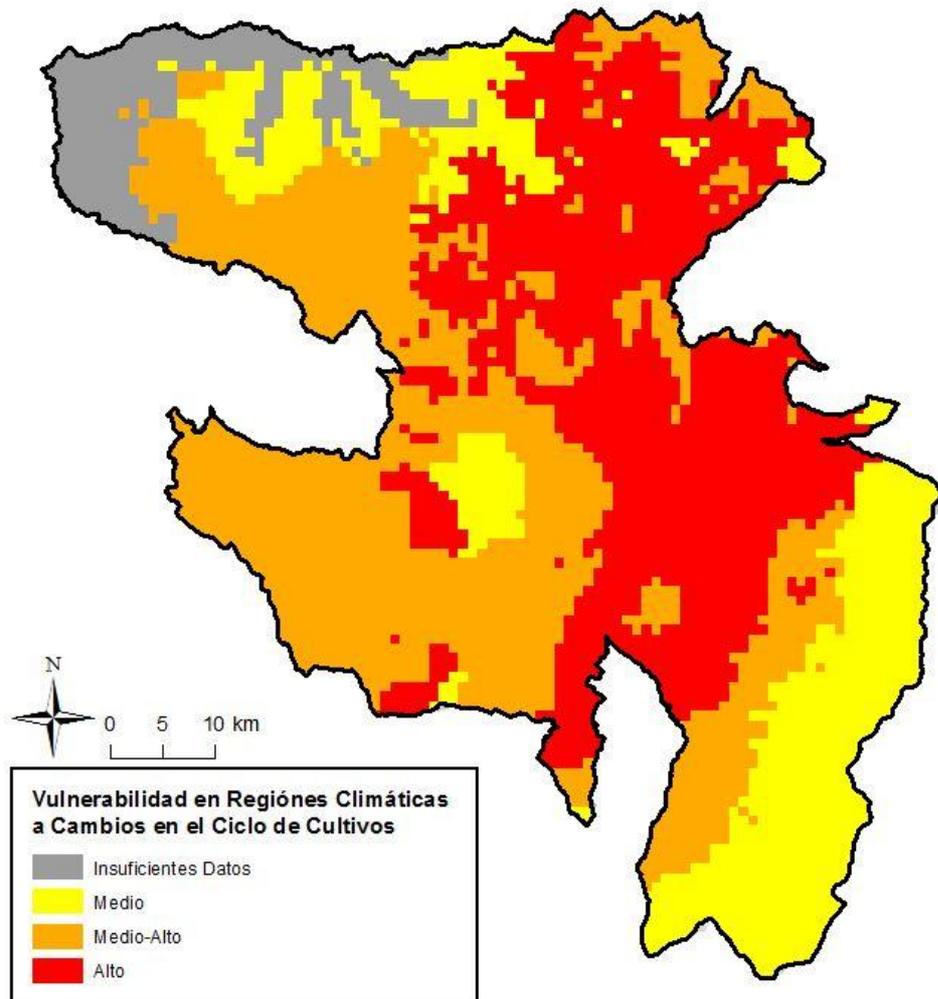


Figura 13 Representación espacial de la vulnerabilidad al cambio en el ciclo de cultivos agrícolas para el DMQ.

Los cultivos representados son: Aguacate, Maíz, Fréjol, Haba, Papa, Cultivos de ciclo corto (representados por Haba), todo tipo de cultivo ciclo corto. El área definida como Insuficientes Datos, hace referencia a la ausencia de datos de los cultivos perennes como palmito y frutales para su análisis.

Se debe considerar que la limitante de la Figura N. 12 es que toma en cuenta exclusivamente el análisis del incremento de las temperaturas en base a la estación Izobamba (3058 msnm). Esta ha sido extrapolada para todo el DMQ, lo cual genera una inadecuada representación

espacial de este efecto en la zona tropical de DMQ (alturas menores a 1000), para lo cual se requiere un análisis con estaciones meteorológicas ubicadas en esa zona.

#### EXPOSICIÓN Y VULNERABILIDAD DE LOS PÁRAMOS DEL DMQ AL INCREMENTO DE TEMPERATURAS

Es fundamental la determinación de la exposición del DMQ al incremento de temperaturas a través de la cobertura vegetal, y en específico de los cultivos y su distribución espacial. Con ello se exploró el cambio potencial en la frontera agrícola superior de la cuenca. Enfocándose en potenciales cultivos agrícolas en el área de paramos.

Este análisis se centró en el cultivo potencial de los páramos ante el aumento de las temperaturas. La preocupación principal es que muchas de las zonas altas que actualmente son demasiado frías para los cultivos de la región pueden aumentar en arabilidad o condiciones de cultivo, esto conforme las temperaturas medias anuales se incrementen. Consecuentemente, es probable que en estas regiones la frontera agrícola se expanda a altitudes mayores.

Los páramos en el DMQ comprenden más o menos toda el área existente a una altura superior a 3800 msnm, y que abarca alrededor de 485 km<sup>2</sup> (11.5% de la superficie del DMQ). Actualmente, sólo el 2.5% (11 a 12 km<sup>2</sup>) de la zona de páramos está siendo cultivada, mientras que aproximadamente el 20-25% del área por debajo de los 3800 msnm es ocupada por cultivos o pastos en el DMQ. Si bien es imposible predecir cuánto se expandirá la frontera agrícola como consecuencia de temperaturas más cálidas, es seguro asumir que los páramos están bajo amenaza significativa por el aumento del área cultivable, debido a la evolución histórica del uso del suelo y el crecimiento de poblaciones.

A fin de estimar el aumento posible de las áreas de cultivo en los páramos, fue necesario identificar dónde están en la actualidad los cultivos agrícolas en términos de altitud y temperatura. Teniendo en cuenta esta información, los patrones en las zonas de gran altitud podrán inferirse exclusivamente en base a las temperaturas. En otras palabras, si las temperaturas medias del páramo aumentan de 6 a 8.5 °C para el año 2050, el cultivo en estas áreas puede ser el reflejo de las regiones de menor elevación que actualmente registran una temperatura promedio de 8.5 °C. La Figura 14 muestra los patrones de uso del suelo agrícola y urbano de cada banda de elevación en rangos de 200 m (> 1000m) en el DMQ, junto con la temperatura media anual actual y futura.

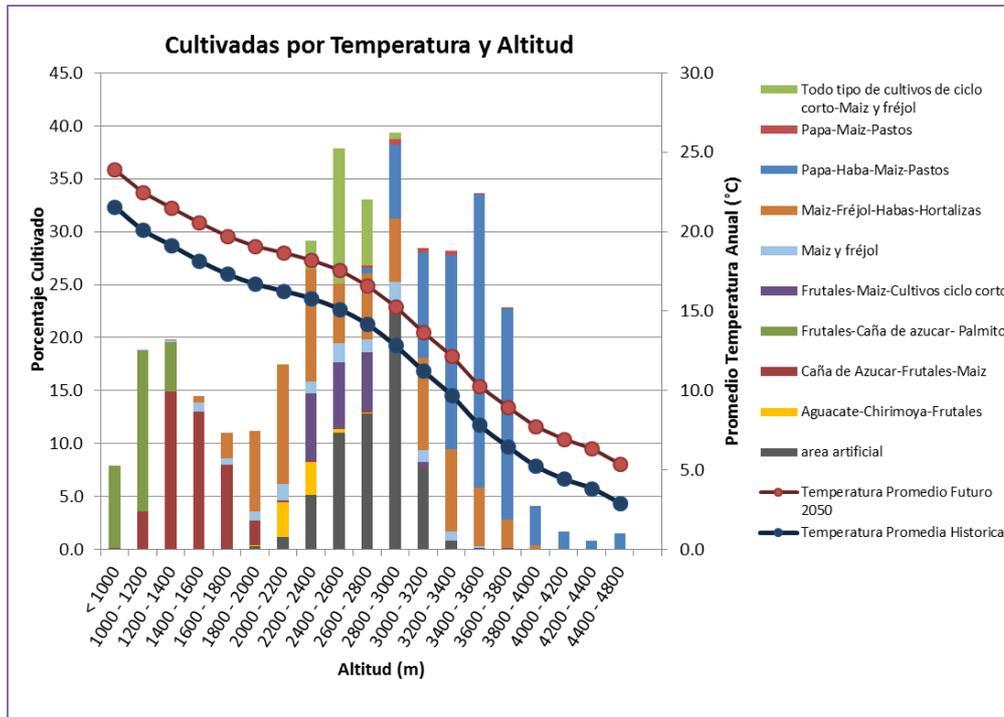


Figura 14 Composición de cultivos agrícolas por altitud y temperatura.

Dado que hay mucha competencia en el uso del suelo y con diversas limitaciones por debajo de la línea de los páramos (es decir los bosques protegidos, áreas urbanas, etc.), sólo se analizaron las regiones altas con elevación superior a los 3400 msnm para predecir la expansión de la agricultura sobre los páramos. Como se observa más claramente en la Figura 14, la frontera agrícola actual está delimitada en alrededor de los 3400 – 3800 msnm, por encima de la cual existen muy pocos cultivos. Si esta frontera se expande a los páramos por el incremento en las temperaturas, es probable que los cultivos actuales en la banda de elevación 3400 – 3800 msnm también se puedan cultivar en las elevaciones de los páramos. Estos cultivos son sobre todo papa y pasto, con pequeñas cantidades de maíz, frijol, haba, y hortalizas. La Figura 15 presenta los mismos datos que la Figura 14, con un “zoom” en las altitudes superiores a 3400 msnm.

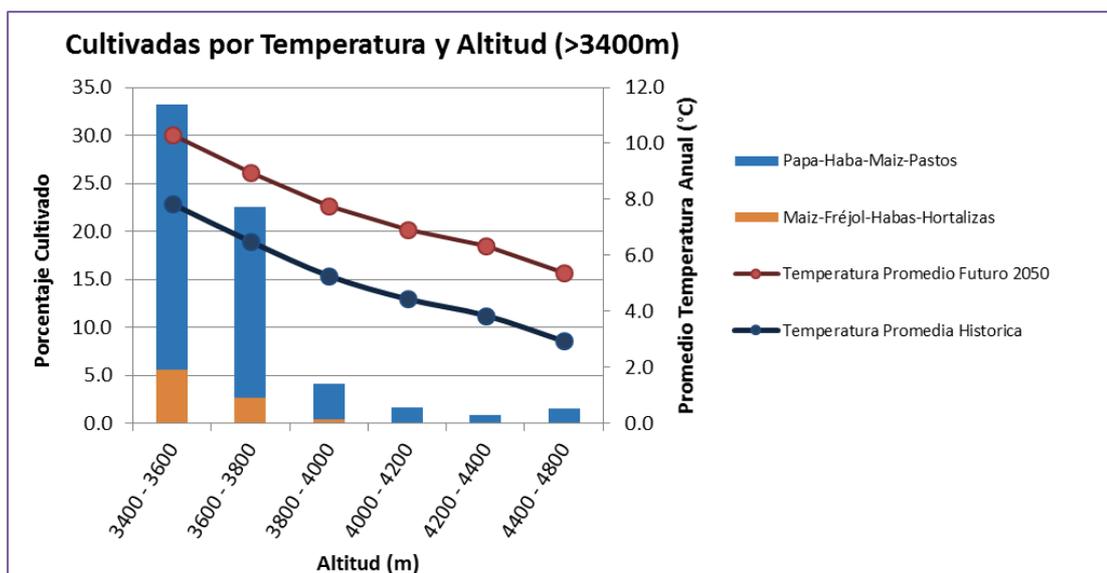


Figura 15 Cultivos en bandas de elevación superiores.

Los valores anteriores de la Figura 15 se tabulan a continuación, con su superficie total cultivada expresada en porcentaje para cada banda de elevación.

Altitud (msnm)	Maíz-Fréjol-Haba-Hortalizas (% área)	Papa-Haba-Maíz-Pastos (% área)	Suma % Cultivada	Temperatura promedio (2012)	Temperatura Promedio (2050)
3400 - 3600	8.1	15.1	33.5	7.8	10.3
3600 - 3800	6.9	22.1	22.6	6.5	9.0
3800 - 4000	5.4	27.2	4.1	5.3	7.8
4000 - 4200	3.6	22.4	1.6	4.4	6.9
4200 - 4400	2.4	17.9	0.8	3.9	6.3

4400 - 4800	0.6	5.3	1.2	2.9	5.4
----------------	-----	-----	-----	-----	-----

Tabla 5 Superficie de cultivo por banda de elevación.

Se puede apreciar que los incrementos medios anuales de temperatura son de alrededor de 2.5 °C para cada banda de elevación de 200 m (en la proyección del escenario más adverso), y que en regiones como la banda 3800 – 4000 msnm las temperaturas promedio en el año 2050 pueden llegar a ser similares a las de la banda 3400 – 3600 msnm del año 2012 (aproximadamente 7.8 °C). En la actualidad más del 30% de la superficie en la banda 3400 – 3600 msnm está siendo cultivada, y sólo de 4 a 5% de la superficie de la banda 3800 - 4000. Sin embargo, si las temperaturas en la banda 3800-4000 se igualan a las temperaturas de la banda 3400-3600 se esperaría que el área de cultivo aumente hasta un 25-30%. Un análisis similar se realizó para cada banda de elevación por encima de los 3800 msnm.

La base de este análisis es la comparación de las temperaturas futuras con las temperaturas actuales y el pronóstico del aumento de cultivos. Si bien se predice que aumentarán las áreas de cultivo en las zonas de páramos a futuro es conveniente aclarar que este supuesto no toma en cuenta acciones y políticas concretas de protección de los páramos, que sin duda serán implementadas, por parte de las entidades de gobierno y la población.

En base solo al supuesto mencionado se resumen a continuación los posibles resultados a esperar en la Tabla 6. Esto con una suposición simplificada de que la frontera de cultivo está determinada, en gran medida, por los patrones de temperatura en la zona de elevación alta. Los resultados se generalizan en rango de porcentaje de cambio en el área total cultivada por elevación.

Altitud (msnm)	Área Total (km <sup>2</sup> )	% Área Cultivada 2012	Rango de Aumento en % de Área Cultivada 2050 (%)	Rango de Aumento en Área Cultivada 2050 (km <sup>2</sup> )	Sensibilidad*
3600 - 3800	142.2	22.6	10 a 15	14 a 21	Medio
3800 - 4000	182.6	4.1	25 a 30	45 a 55	Alto
4000 - 4200	211.0	1.6	20 a 25	42 a 53	Alto

4200 - 4400	81.5	0.8	15 a 20	12 a 16	Medio
4400 - 4800	9.8	1.6	0 a 5	0 a 1	Bajo

Tabla 6 Nivel de sensibilidad en bandas de elevación.

\*Ver definición de sensibilidad abajo en el texto

A partir de estos resultados se observa que la superficie en la bandas de elevación 3800 – 4200 son más susceptibles a incrementos mayores en superficie cultivada. Sin embargo, la superficie total dedicada al cultivo en zonas más bajas, donde ya existen cultivos, es significativa y es probable que todavía sea mayor (3600 – 3800). No se prevé un aumento en la superficie cultivada en la banda 3600 - 3800 como en las bandas 3800 – 4200 debido a que ya existe una superficie cultivada significativa (22.6 %). Por lo tanto, la cantidad relativa de aumento puede ser mayor en las regiones más altas, debido a que tienen muy poca agricultura. Estos análisis y supuestos tienen limitaciones, y es posible que los aumentos mayores en las tierras cultivadas pueden continuar ocurriendo en las zonas que ya están altamente cultivadas (como las bandas 3400 – 3800), a pesar de la presencia de temperaturas más cálidas. Sin embargo, dado nuestro ejercicio hipotético, las temperaturas más cálidas podrían significar que las nuevas regiones de páramos, es decir de 3800 – 4400 msnm, podrían experimentar aumentos significativos en las áreas de cultivo.

#### DEFINICIÓN DE EXPOSICIÓN, SENSIBILIDAD, CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN Y VULNERABILIDAD

**Exposición:** Dado que la exposición al aumento de la temperatura fue más o menos uniforme en todas las regiones de alta elevación del DMQ (aproximadamente 2.5 °C de aumento para el año 2050) en el escenario climático más adverso, la exposición de todas las bandas de elevación se considera "Alta".

**Sensibilidad:** La sensibilidad se define como el potencial de aumento en el cultivo (en %) basado en los supuestos de análisis. En gran medida, está en función de la proximidad a las tierras cultivadas existentes (frontera agrícola existente), y cuando se combina con la magnitud del aumento de la temperatura se determina una vulnerabilidad general. Se asignaron valores cualitativos de "Bajo", "Medio" y "Alto" basados en la cantidad de aumento potencial en porcentaje de área cultivada (rango de aumento en superficie cultivada %).

Bajo = 0 – 10%

Medio = 10 – 20%

Alto = 20 – 30%

Vulnerabilidad: Dado que la exposición es constante a través de los páramos (“Alto”), las diferencias en la vulnerabilidad entre varias bandas de elevación son un reflejo de las diferencias en la sensibilidad. A continuación, la Tabla 7 muestra la exposición, sensibilidad y vulnerabilidad determinadas.

4400 - 4800	Alto	Bajo	Bajo
Altitud (msnm)	Exposición	Sensibilidad*	Vulnerabilidad
3600 - 3800	Alto	Medio	Medio-Alto
3800 - 4000	Alto	Alto	Alto
4000 - 4200	Alto	Alto	Alto
4200 - 4400	Alto	Medio	Medio

Tabla 7 Niveles de exposición, sensibilidad y vulnerabilidad.

Cabe señalar que tanto las bandas 3600 - 3800 y 4200 - 4400 registran sensibilidades de nivel “Medio”, pero por dos razones diferentes. El nivel “Medio” para la banda 3600 - 3800 representa el hecho de que ya existe un área de cultivo, y el aumento relativo en el cultivo en esta banda (10 - 15%) es menor que el aumento en las bandas 3800 – 4200 (20 – 30%). Sin embargo, la superficie total cultivada en la banda 3600 – 3800 es todavía mayor (ver Tabla 8), por lo que su vulnerabilidad general se consideró de nivel “medio-alto”, debido a su condición ya deteriorada. Por otro lado la sensibilidad y la vulnerabilidad de valor “Medio” de la banda 4200 – 4400 es un reflejo de que las temperaturas aun son relativamente frías en estas altitudes, y las zonas de cultivo sólo representan una pequeña o moderada cantidad del área de cultivo total.

Altitud (m)	Área cultivada 2012 (km <sup>2</sup> )	Área cultivada 2050 (km <sup>2</sup> )
3600 – 3800	32.1	46 a 53

3800	–		
4000		7.4	53 a 63
4000	–		
4200		3.5	45 a 56
4200	–		
4400		0.6	13 a 17
4400	–		
4800		0.2	0 a 1

Tabla 8 Áreas de cultivo en bandas de elevación

## 8. 2.5 CONCLUSIONES SECTOR AGRICULTURA

El presente estudio analiza los efectos potenciales de la variabilidad climática en los cultivos agrícolas en la zona interandina del DMQ. Se identifican qué cultivos agrícolas se verán potencialmente afectados en dos formas por el incremento de las temperaturas promedio hasta el año 2050. Un primer efecto del incremento de las temperaturas es que el factor de reducción en crecimiento de cultivos será inicialmente positivo. En otras palabras, se espera que el incremento en temperaturas tenga un efecto benéfico en el desarrollo de los cultivos, ya que las temperaturas medias pronosticadas a futuro serán muy similares a las temperaturas óptimas de desarrollo de los cultivos.

El segundo efecto del incremento en las temperaturas es que habrá una acumulación más rápida de las unidades de calor requeridas durante el ciclo de crecimiento de cultivos. Con ello, los ciclos de crecimiento de los cultivos en el DMQ se verán acortados en tiempo o duración, esto tomando en cuenta que las fechas de siembra y las variedades de cultivos agrícolas serán las mismas en un futuro. No obstante, cabe aclarar que no todos estos supuestos sucederán tal cual.

Se determinaron tres niveles de vulnerabilidad espacial de los cultivos agrícolas del DMQ: (i) Medio, (ii) Medio-Alto, y (iii) Alto para los cultivos bajo estudio que fueron el Aguacate, Maíz, Fréjol, Haba, Papa, Cultivos de ciclo corto (representados por Haba), y otros tipos de cultivos de ciclo corto.

En el presente estudio también se analiza la expansión de la frontera agrícola en la zona Interandina del DMQ, específicamente en altitudes mayores a los 3400 msnm donde se ubica el ecosistema de páramos. Es importante indicar que los resultados obtenidos en esta sección fueron logrados únicamente en función de los incrementos de las temperaturas promedio al

año 2050 y por bandas de elevación con incrementos de 200 metros. Se determinó la expansión de la frontera agrícola en base al supuesto de que para una banda de elevación determinada (por ejemplo 3600-3800 msnm) las temperaturas actuales en la banda superior inmediata (3800-4000 msnm) serán muy similares en la banda inferior en un futuro (2050), y por consiguiente, el área agrícola de la banda inferior será potencialmente desarrollada en la banda superior.

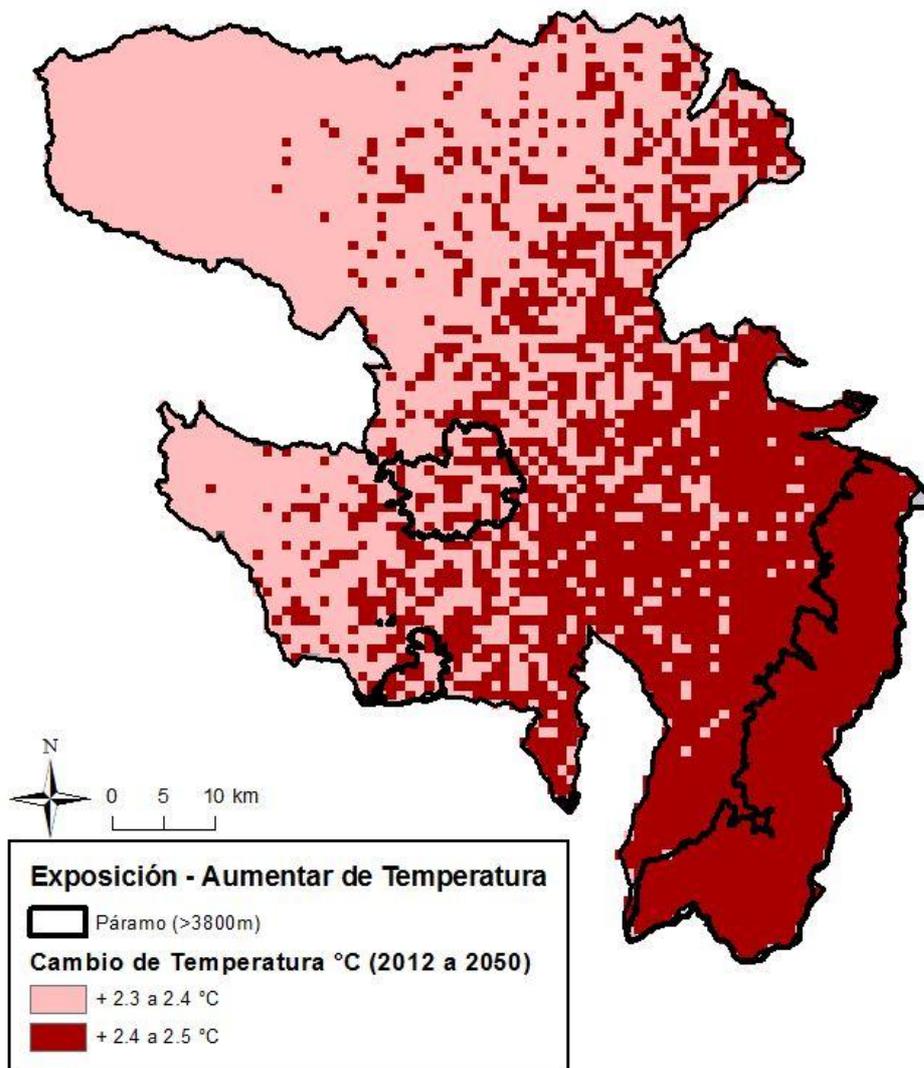
Un resultado directo de este análisis es que podría ocurrir una migración de áreas de cultivo a altitudes mayores, razón por la cual las áreas de los páramos se verán amenazadas por la expansión de la frontera agrícola. Bajo este supuesto, se presentan en la Tabla 8 las posibles áreas de cultivo estimadas en la zona de páramos por bandas de elevación.

Para tener una mayor comprensión de los resultados obtenidos, el presente estudio tiene ciertas limitantes en su desarrollo y aplicación que es importante mencionar. Una primera limitante es que se considera la temperatura como única variable meteorológica de estudio y se omite la precipitación. Además, la información histórica está reducida a la estación de Ilobamba, por ser la que cuenta con el record histórico diario más extenso de 1960-2012. Si bien la estación de Ilobamba puede representar las condiciones climáticas de la zona Interandina ubicadas en altitudes similares, no representa las condiciones climáticas existentes en la zona tropical del DMQ. Por lo tanto, se requiere un análisis similar con información meteorológica de las zonas en las cuales no existe información adecuada. En cuanto a la expansión de la frontera agrícola es importante señalar que los resultados no toman en cuenta las diferentes políticas de protección y mejoramiento de los páramos que se tienen en la actualidad, ni las futuras políticas de protección, que sin duda alguna serán implementadas, así como acciones concretas de protección por parte de gobiernos, instituciones y población en general.

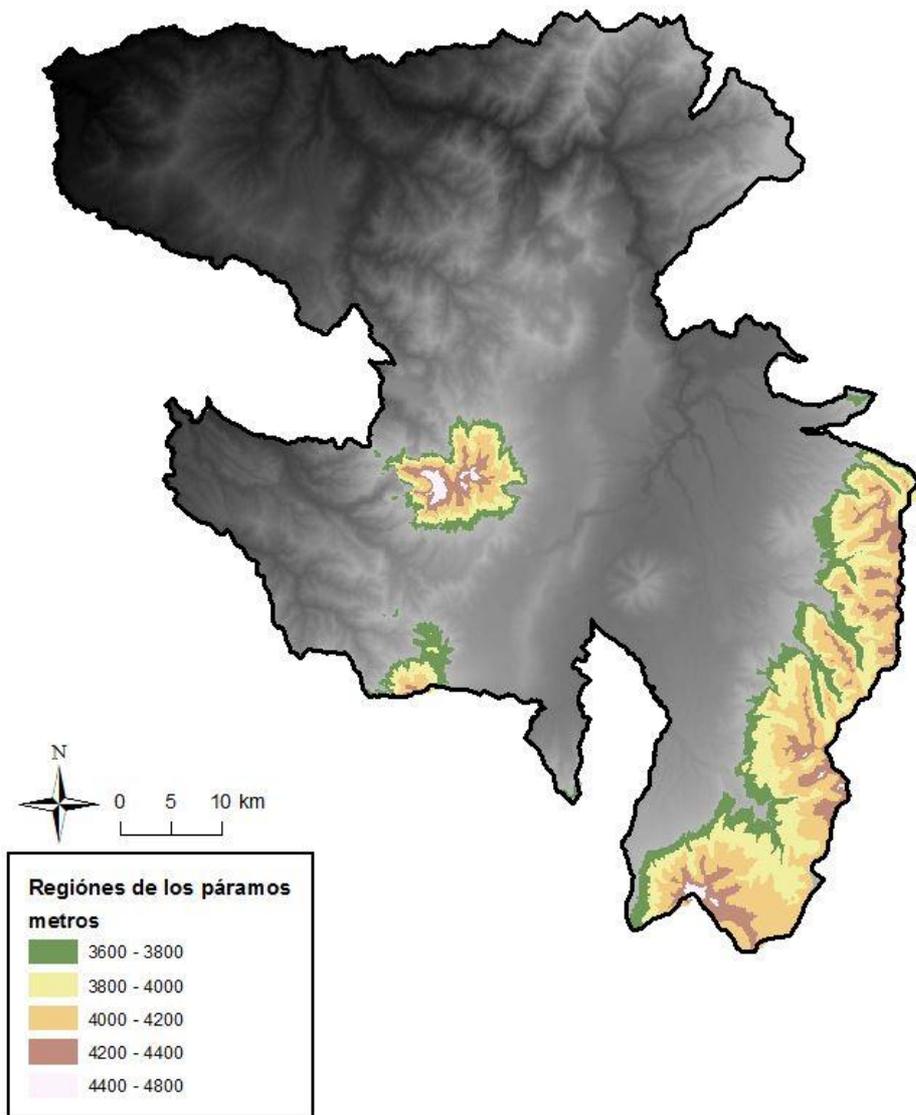
Algunos retos a futuro son realizar un estudio similar en las zonas tropical, interandina seca y semi-seca del DMQ que contemple un análisis de los cultivos de mayor importancia, en especial la zona tropical, los cuales son frutales, palmito, cítricos, caña de azúcar y otros predominantes. También será de mucha importancia un análisis que considere el efecto de la precipitación, ya que la precipitación juega un rol primordial en el desarrollo de los cultivos agrícolas bajo temporal, siendo que las áreas bajo riego son mínimas en esta parte del Ecuador.

Por último, se recomienda la implementación de un modelo de crecimiento de plantas, como el modelo PGM de WEAP, para determinar la vulnerabilidad del sector agrícola del DMQ ante el cambio climático y los incrementos en las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico, en términos de producción, rendimientos y producción de alimentos.

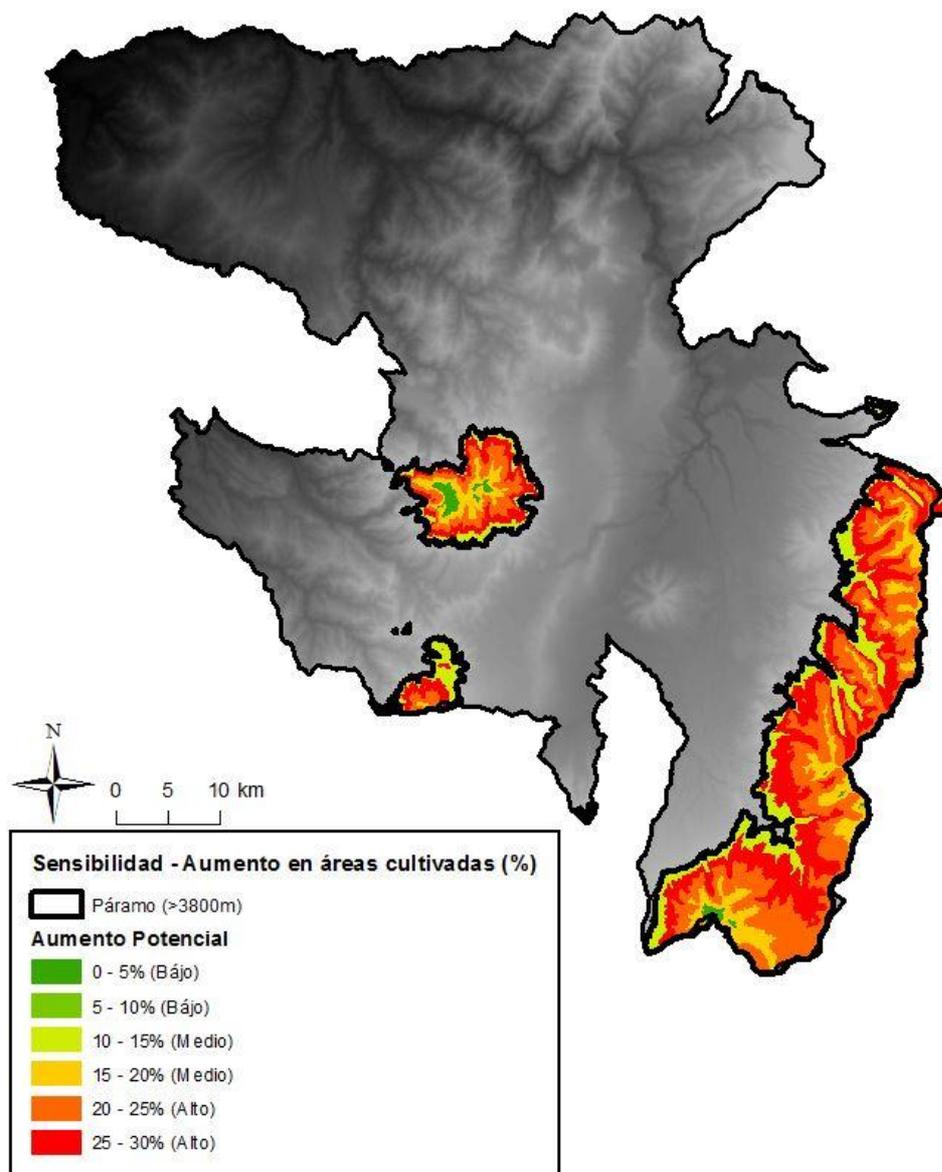
## 9. 2.6 MAPAS



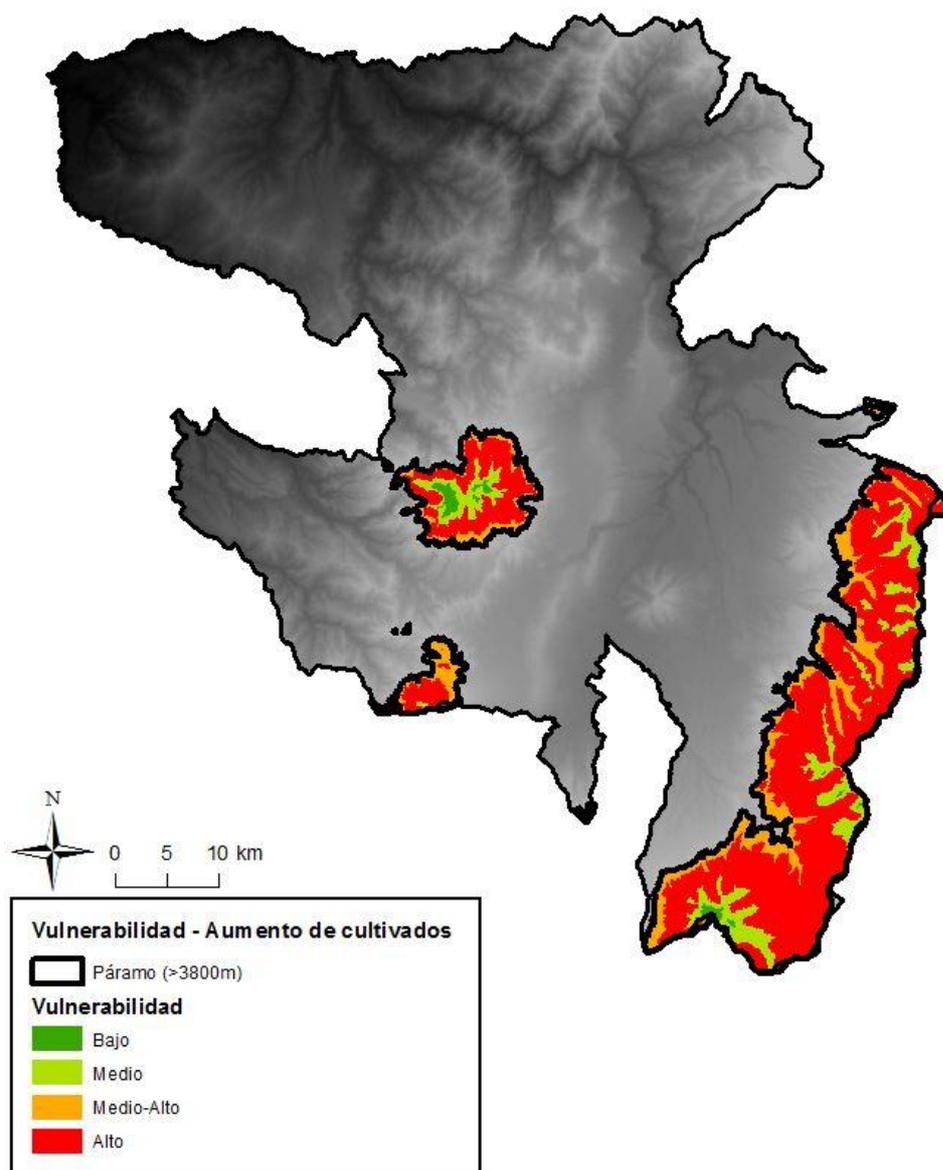
Mapa 1. Exposición por aumento de temperatura



Mapa 2. Intervalos de altitud en páramos



Mapa 3. Sensibilidad por aumento de las áreas cultivadas



Mapa 4. Vulnerabilidad de los páramos frente agricultura

## SECTOR AGUA

### 10.3.1 LA FORMULACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL SECTOR AGUA

Se evaluó la vulnerabilidad del sector agua en el DMQ en función del abastecimiento de agua potable en las áreas de servicio atendidas por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Q). Cabe destacar que el sector agua contempla distintos usos que también son estratégicos para analizar su vulnerabilidad, pero para efectos de este estudio quedan planteados para su desarrollo.

Para lograr este objetivo se aplicó el modelo de gestión integral de recursos hídricos WEAP (Sieber and Purkey 2011) previamente construido por la Escuela Politécnica Nacional (EPN) para la cuenca de Guayllabamba (Villacís, M., et al. 2012; Fernandez 2009). Con la aplicación de este modelo se determinó la vulnerabilidad del sector agua en el DMQ, lo que permitió identificar y responder a la pregunta de política relevante en estudio.

Un antecedente del presente estudio es el Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el Distrito Metropolitano de Quito ha (Hazen and Sawyer 2013), desarrollado en el año 2009, cuyos objetivos fueron ajustar la estrategia de desarrollo de los servicios de agua potable y saneamiento a corto, mediano y largo plazo (5, 10 y 30 años respectivamente), así como proporcionar una herramienta para la gestión y planificación de los servicios que presta EMAAP-Q. Con esta información de línea base se alcanzaron los objetivos principales del Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el DMQ.

En el período 1997-2008 el Plan Maestro de EMAAP-Q desarrolló diferentes estudios para mejorar el conocimiento de las fuentes de agua superficial o subterránea y las correspondientes obras necesarias para satisfacer la demanda de agua potable y saneamiento de la ciudad de Quito y de las 33 parroquias rurales que conforman el DMQ. Con ello EMAAP-Q actualizó las relaciones entre demanda y oferta de agua potable, así como de saneamiento para el DMQ, planteando los proyectos de desarrollo requeridos.

A pesar de todo este esfuerzo, no se realizó un estudio de vulnerabilidad relacionado con el suministro de agua potable para la zona metropolitana de Quito, y por ello surgió la necesidad de llevar a cabo el presente estudio de vulnerabilidad del sector agua para el DMQ.

### 11. 3.2 ETAPA 1: PROCESO DE CONSTRUCCIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO

La metodología propuesta para la estimación de la vulnerabilidad consiste en la selección de una pregunta guía para los procesos de investigación a partir de matrices denominadas Herramienta de Conocimiento Participativo (HCP). Como resultado de este esfuerzo de reflexión entre los diferentes actores sectoriales, se seleccionó una pregunta clave coherente con las necesidades de políticas relevantes para ser desarrollada por actores clave como es EPMAAP-Q y la Secretaría de Ambiente.

#### SISTEMA DE AGUA POTABLE DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

El sistema de abastecimiento del DMQ tiene sus orígenes en el siglo XVI, cuando la napa y los manantiales de la ciudad comenzaron a ser utilizados (Pouget 2013). La napa freática de Quito fue la principal fuente de abastecimiento a partir de la década de los 40's, y desde los años 60's se encuentra en operación el sistema Occidente que usa las aguas superficiales del río Pichincha y otras cuencas al Sur. Posteriormente, en los años 70's se comenzó a observar una baja considerable de los niveles piezométricos (Ercole, Quito (Ecuador), and Institut de recherche pour le développement (France) 2004), razón por la que se tuvo la necesidad de una fuente de abastecimiento alternativo proveniente de las cuencas del Sur. Con ello se implementó el suministro de agua del Río Pita, y con el mismo objetivo se encuentra en operación desde los años 90's el sistema Tesalia en la cuenca de San Pedro.

El sistema Noroccidente en funcionamiento desde el año 1991 captura las aguas de diversas quebradas del Pichincha hasta la cuenca alta del Río Mindo en el Occidente, mientras que el abastecimiento desde las zonas de páramos en las cuencas del lado amazónico se inició en el año 1990, al igual que el primer sistema Papallacta. Además, en el año 2000 comenzó a operar el sistema Mica que capta agua proveniente de las cuencas altas del Antizana, con alrededor de 70% de páramos y 5% de glaciación (Pouget 2013).

El estudio ha considerado dos tipos de unidades de análisis: (i) las cuencas hidrográficas aportantes de agua "cruda" entre las que se encuentran las fuentes de agua del DMQ mencionadas anteriormente, y (ii) las zonas de abastecimiento de agua potable (o también conocidas como zonas de servicio) a nivel de la distribución de la población otorgadas por EPMAAP-Q.

Si bien el DMQ cuenta con diferentes alternativas y reservas de agua (subterránea, por ejemplo), el volumen de agua suministrado actualmente por las cuencas aportantes es de aproximadamente un 90% (otras fuentes de suministro son los sistemas más pequeños localizados en el occidente del volcán Pichincha y ojos de agua locales en sectores rurales); por lo que de su funcionamiento y provisión depende el abastecimiento en las áreas de servicio urbano. A continuación se presenta el mapa de cuencas aportantes y áreas de servicio

considerado en el análisis de vulnerabilidad, el mismo que servirá como mapa base de análisis o unidad espacial de análisis (ver Figura 1).

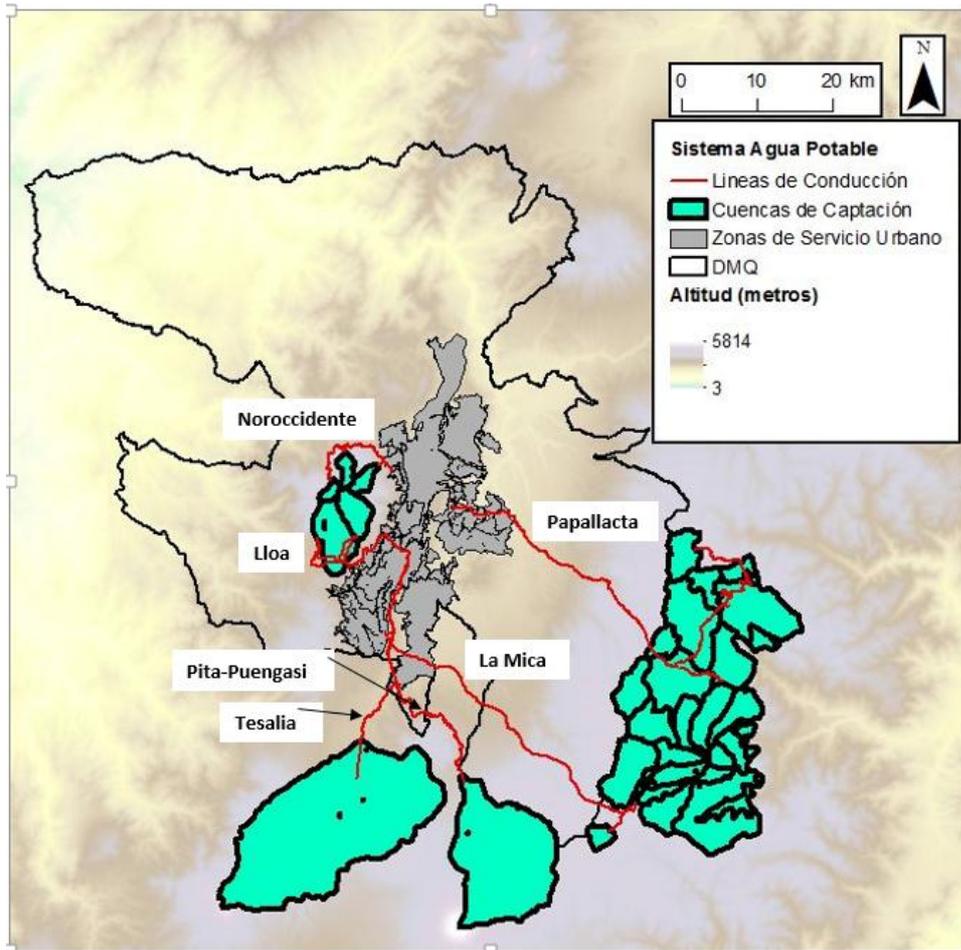


Figura 16 Mapa de principales cuencas hídricas aportantes del abastecimiento de agua potable del DMQ y zonas de servicio - Fuente: Villacis et al. 2012; Fernández 2013; EMAAP-Q.

El mapa precedente (Figura 16) muestra que las cuencas aportantes de agua para el DMQ se encuentran fuera de la jurisdicción del territorio. Esta particularidad difiere con los otros sectores de estudio, cuyas unidades espaciales se circunscriben a los límites del DMQ. Asimismo, se conoce que en el DMQ existen otras fuentes de abastecimiento aportantes a nivel rural y de la zonas del Noroccidente del volcán Pichincha, las mismas que no han sido incluidas en el mapa, debido a que esta información no se encuentra integrada al sistema SIG por EMAAP-Q.

### 12.3.3 ETAPA 2: DEFINICIÓN DE LAS PREGUNTAS CLAVE DE INVESTIGACIÓN

La pregunta clave de este análisis es ***¿Qué tan vulnerable es el suministro de las fuentes de agua actual y futura para el abastecimiento de agua potable del DMQ?*** Las respuestas esperadas apuntan a obtener escenarios posibles actuales y futuros en cuanto a una posible disminución del recurso hídrico en las fuentes de capacitación y sus consecuencias en el abastecimiento de agua potable en el DMQ. Esta herramienta sin duda será de gran utilidad en la planificación de servicios por parte de los actores responsables en el suministro de agua potable.

Considerando que el sistema de agua potable del DMQ es administrado por EMAAP-Q, este sistema comprende el manejo de fuentes de captación, redes de conducción, el almacenamiento y tratamiento del agua y finalmente las redes de distribución que constituyen las zonas de servicio de agua potable.

### **13. ETAPA 3: VARIABLES DE VULNERABILIDAD (AMENAZAS, EXPOSICIÓN Y SENSIBILIDAD)**

Partiendo de esta línea base del estudio, se identificaron los siguientes indicadores espaciales para definir la exposición y la sensibilidad del sector agua. Para la exposición, se proponen dos categorías generales de indicadores: Las condiciones climáticas en las cuencas aportantes, y la cobertura de páramo en las cuencas aportantes.

Estos dos indicadores (ya sea de forma individual o combinada) permiten comprender las variaciones en la cantidad de agua disponible para satisfacer las necesidades de los usuarios dentro de las zonas de servicio de EMAAP-Q. Esta información es clave para determinar el la suficiencia del suministro del agua potable.

Como antecedente de la exposición climática se tiene que en las estribaciones orientales de la cordillera Central -donde se localizan las captaciones de los aprovechamientos Papallacta, La Mica y los proyectos de Ríos Orientales- el tipo de clima es frío de alta montaña y uniforme (lluvia durante todo el año y temperatura menor a 12 °C). Se aprecia una variación de precipitaciones que aumenta desde la zona sur en sentido oeste – este, en valores que fluctúan entre 800 mm en Tamboyacu y 2200 mm en Cosanga. Al norte de la misma zona las lluvias anuales son espacialmente más uniformes con una media de 1300 mm en la divisoria de aguas de la cordillera, 1500 mm en Papallacta y 1700 mm aproximadamente en las zonas de Chalpi y Quijos (EMAAP-Q, PRO 2005). Se observa también que la distribución de las precipitaciones mensuales a lo largo del año muestra un período con mayor intensidad entre abril y septiembre, con picos en los meses de junio y julio.

Para estimar la sensibilidad se propone como indicador la cobertura del suministro de agua potable considerando la población dentro de cada una de las zonas de servicio del DMQ.

El crecimiento de la población acentúa las demandas del servicio de agua potable, las mismas que, a través del tiempo, han sido cubiertas por el suministro proporcionado por EMAAP-Q, generando una elevada confiabilidad.

Considerando que la demanda de agua se define por la combinación del número de usuarios y la cantidad de agua utilizada por cada usuario, el cálculo de la confiabilidad del sistema de abastecimiento hace uso de la relación entre los volúmenes demandados y suministrados totales en el DMQ, un dato importante para la comprensión de la cobertura del servicio.

La población es uno de los componentes en la estimación de la demanda total de agua en los cálculos de confiabilidad del suministro. Dada la limitada información del consumo final por usuario, los datos de población son analizados a partir de las demandas per cápita obtenidas del Censo de Población de 2010 y el Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el DMQ (Hazen and Sawyer 2013). Esto permitió generar estimaciones de demanda de agua por zonas de servicio, las mismas que serán empleadas para el presente estudio.

En ausencia de datos detallados del consumo final por usuario, los datos demográficos se combinan con los supuestos de la cantidad de agua utilizada por usuario (demanda per cápita) para generar estimaciones agregadas de la demanda de agua a satisfacer. Por lo tanto, en el estudio se hace uso del número de población como parte del análisis del sector del agua.

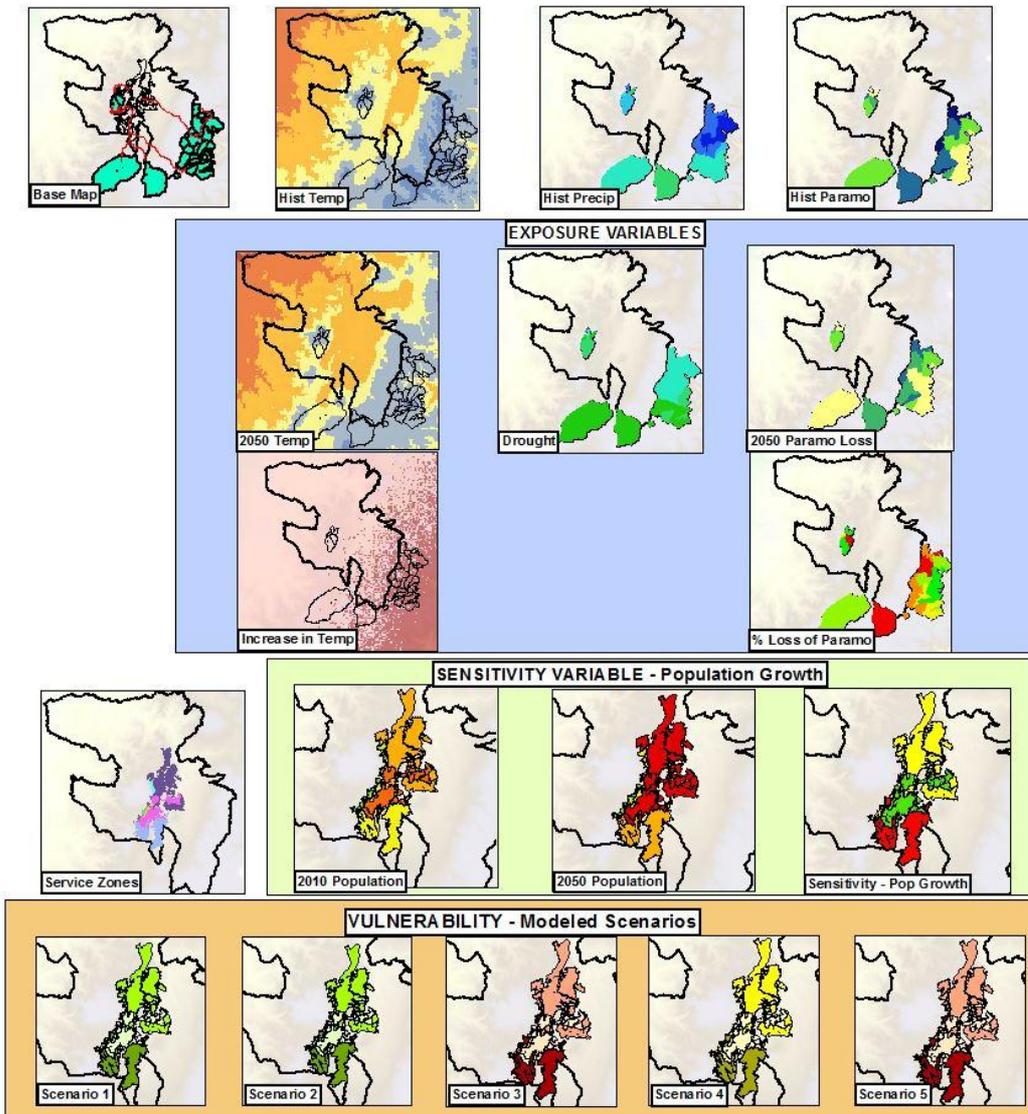
Como antecedente de la exposición climática se tiene que en las estribaciones orientales de la cordillera Central -donde se localizan las captaciones de los aprovechamientos Papallacta, La Mica y los proyectos de Ríos Orientales- el tipo de clima es frío de alta montaña y uniforme (lluvia durante todo el año y temperatura menor a 12 °C). Se aprecia una variación de precipitaciones que aumenta desde la zona sur en sentido oeste – este, en valores que fluctúan entre 800 mm en Tamboyacu y 2200 mm en Cosanga. Al norte de la misma zona las lluvias anuales son espacialmente más uniformes con una media de 1300 mm en la divisoria de aguas de la cordillera, 1500 mm en Papallacta y 1700 mm aproximadamente en las zonas de Chalpi y Quijos (EMAAP-Q, PRO 2005). Se observa también que la distribución de las precipitaciones mensuales a lo largo del año muestra un período con mayor intensidad entre abril y septiembre, con picos en los meses de junio y julio.

Para estimar la sensibilidad se propone como indicador la cobertura del suministro de agua potable considerando la población dentro de cada una de las zonas de servicio del DMQ. El crecimiento de la población acentúa las demandas del servicio de agua potable, las mismas que, a través del tiempo, han sido cubiertas por el suministro proporcionado por EMAAP-Q, generando una elevada confiabilidad.

Considerando que la demanda de agua se define por la combinación del número de usuarios y la cantidad de agua utilizada por cada usuario, el cálculo de la confiabilidad del sistema de abastecimiento hace uso de la relación entre los volúmenes demandados y suministrados totales en el DMQ, un dato importante para la comprensión de la cobertura del servicio.

La población es uno de los componentes en la estimación de la demanda total de agua en los cálculos de confiabilidad del suministro. Dada la limitada información del consumo final por usuario, los datos de población son analizados a partir de las demandas per cápita obtenidas del Censo de Población de 2010 y el Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el DMQ (Hazen and Sawyer 2009). Esto permitió generar estimaciones de demanda de agua por zonas de servicio, las mismas que serán empleadas para el presente estudio.

En ausencia de datos detallados del consumo final por usuario, los datos demográficos se combinan con los supuestos de la cantidad de agua utilizada por usuario (demanda per cápita) para generar estimaciones agregadas de la demanda de agua a satisfacer. Por lo tanto, en el estudio se hace uso del número de población como parte del análisis del sector del agua.



Conceptualización gráfica del modelamiento espacial para evaluar la vulnerabilidad en el sistema de agua potable del DMQ.

### EXPOSICIÓN

Para una mejor comprensión de la exposición actual se analizará la variación climática y el porcentaje de páramo en relación a las cuencas aportantes. El primer escenario de exposición (ver Figura 17) contiene una representación espacial de la temperatura media anual histórica en el DMQ y áreas aledañas donde se incluye cada una de las subcuencas aportantes.

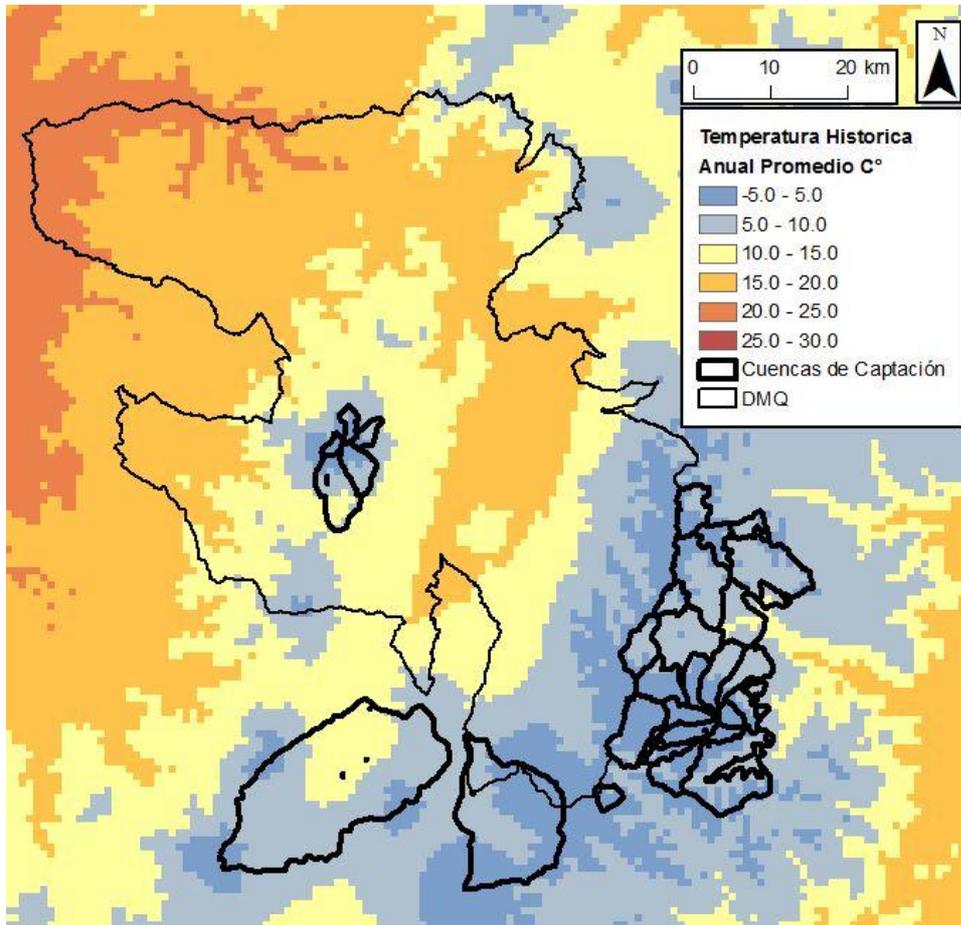


Figura 17 Temperatura promedio anual histórica para la región en °C (1960-2012)

Un segundo escenario de exposición contempla lo relacionado con la precipitación, que se define como el 90% del nivel de excedencia (precipitación estimada con un 90% de confiabilidad en base a información histórica), lo que puede ayudar a definir la presencia de condiciones secas. En la Figura 18 se presenta un mapa de la representación espacial de la precipitación anual asociada con el nivel de excedencia en el registro del clima histórico del período 1970 -2007 para cada cuenca aportante del EMAAP-Q.

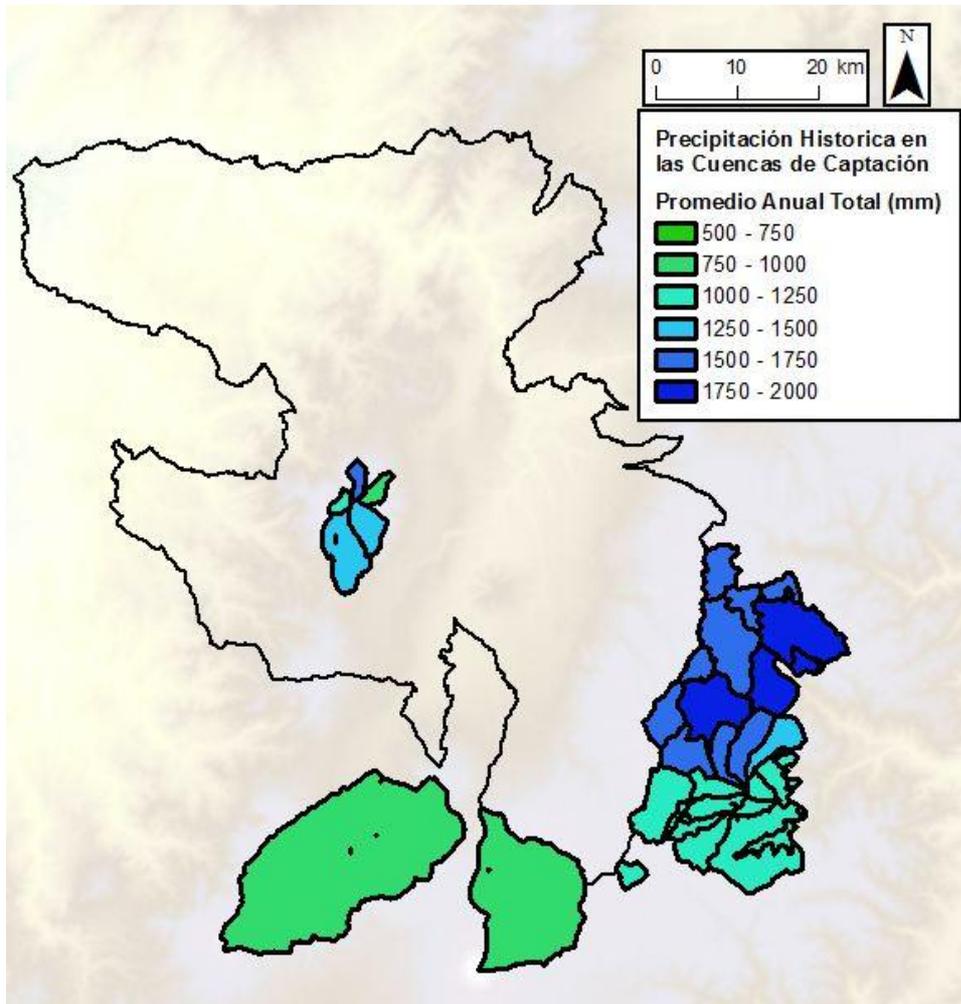


Figura 18 Rangos de precipitación histórica en las cuencas de captación (1970 - 2007).

Se debe mencionar que no existe un mapa de la precipitación regional disponible, siendo que los valores de precipitación previstos de Worldclim6 para el DMQ son los mismos que los valores históricos reportados. El mapa de precipitación histórica más exacta de la Secretaría del Ambiente de DMQ, tiene información que cubre al DMQ y omite las áreas aledañas donde se ubican las cuencas aportantes. Por lo tanto, el mapa presentado aquí sólo muestra los valores de las precipitaciones que se utilizaron en el modelo WEAP para cada cuenca aportante.

Como una estrategia para asegurar la calidad en el suministro de agua potable al DMQ, históricamente la EPMAAPS ha edificado fuentes de agua relativamente a gran altitud, por encima de las grandes concentraciones de la actividad antropogénica, con el objetivo de eliminar problemas relacionados con la contaminación del recurso, y para dar prioridad al uso urbano-potable sobre los demás usuarios de agua localizados aguas abajo.

Un tercer escenario para los análisis de exposición es el uso y ocupación de suelo, un indicador que representa el porcentaje de superficie que poseen los páramos en la cuenca aportantes. En la Figura 19 se presenta el mapa que muestra el porcentaje del páramo dentro de cada cuenca aportante, desglosado por subcuencas.

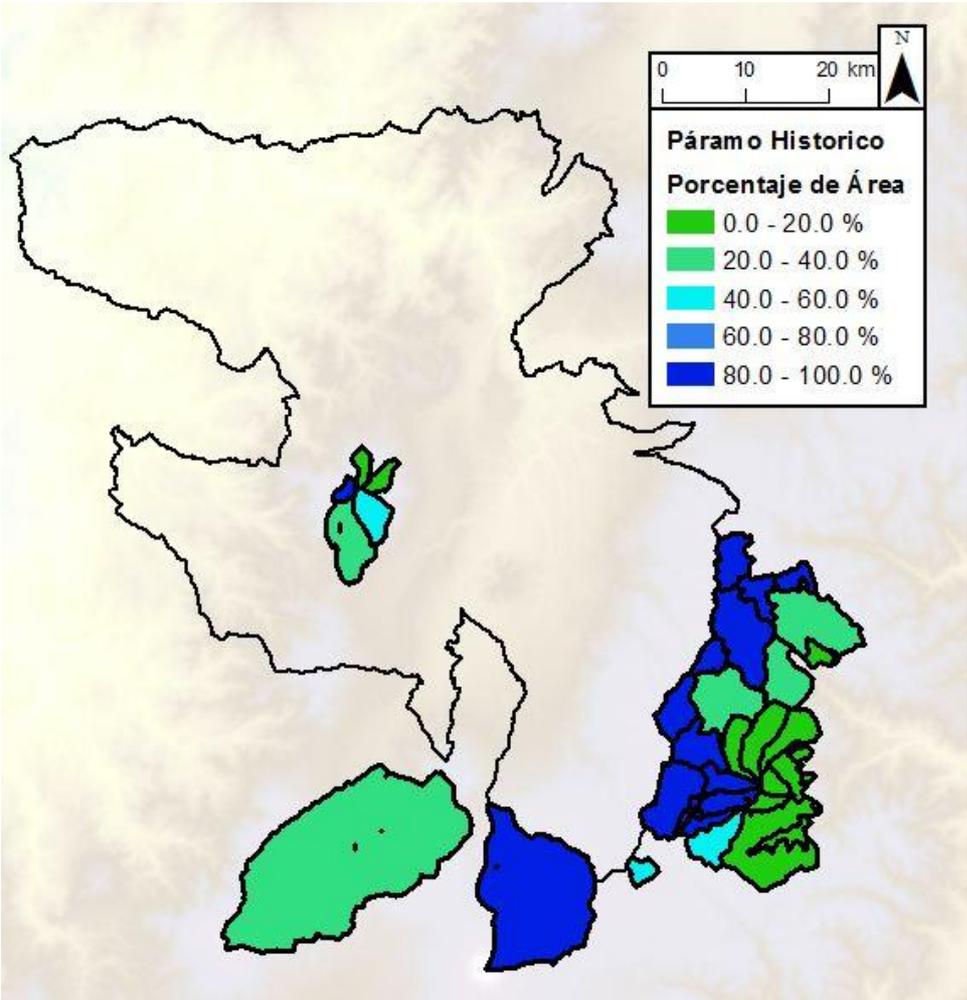


Figura 19 Porcentaje de ocupación de páramo como se tiene en el modelo WEAP de la cuenca de Guayllabamba (valores al año 2007)

De esta manera los escenarios de exposición se encuentran relacionados con el clima (precipitación y temperatura) y con la cobertura del páramo en cada una de las cuencas aportantes, las mismas que son útiles para estimar la exposición actual del sistema de suministro de agua del EMAAP-Q.

Por otro lado, y como parte del análisis de vulnerabilidad, se establece una relación entre la cantidad de agua disponible para el abastecimiento de agua y las áreas de servicio del EMAAP-Q (Figura 20).

En estas condiciones, existe un indicador de sensibilidad (Figura 21) definido como el número de habitantes por cada zona de servicio, que se le relaciona con el consumo de agua per cápita agregado para proporcionar una estimación de la demanda total que debe ser satisfecha por las cuencas aportantes. El número de habitantes al año 2010 dentro del DMQ fue tomado del Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el DMQ (Hazen and Sawyer 2009), el cual, a su vez, se basa en las estadísticas reportadas por el Censo de población de 2010.

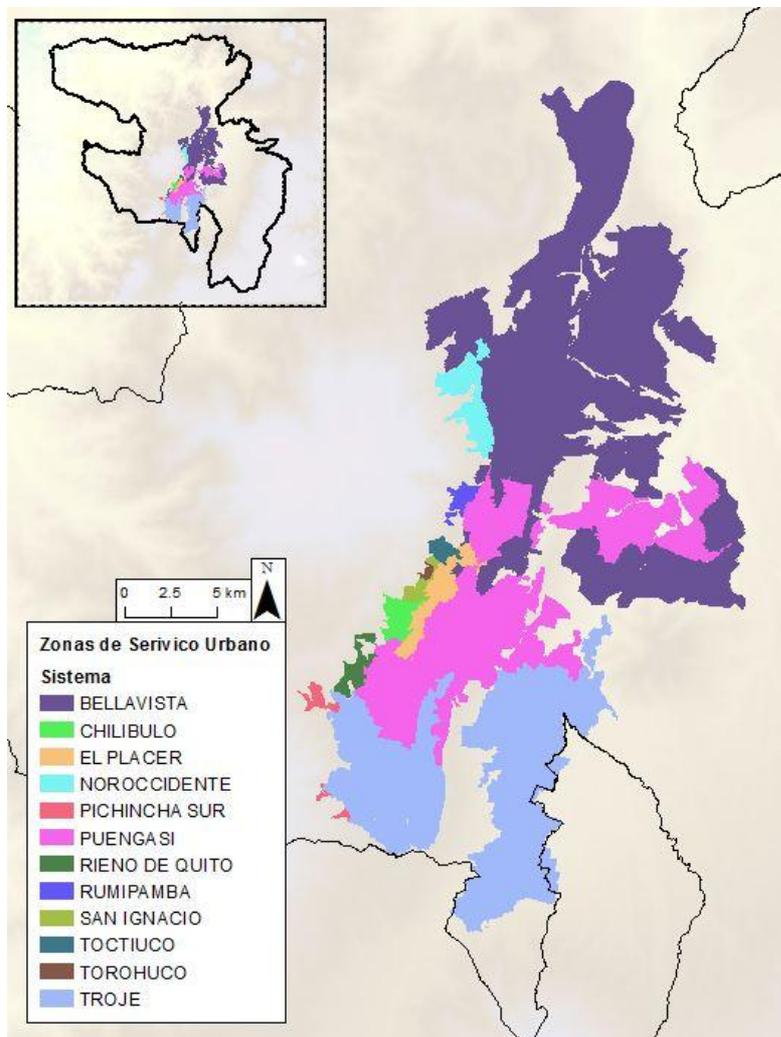


Figura 20 Zonas de servicio de agua potable (zonas urbanas únicamente) en el DMQ

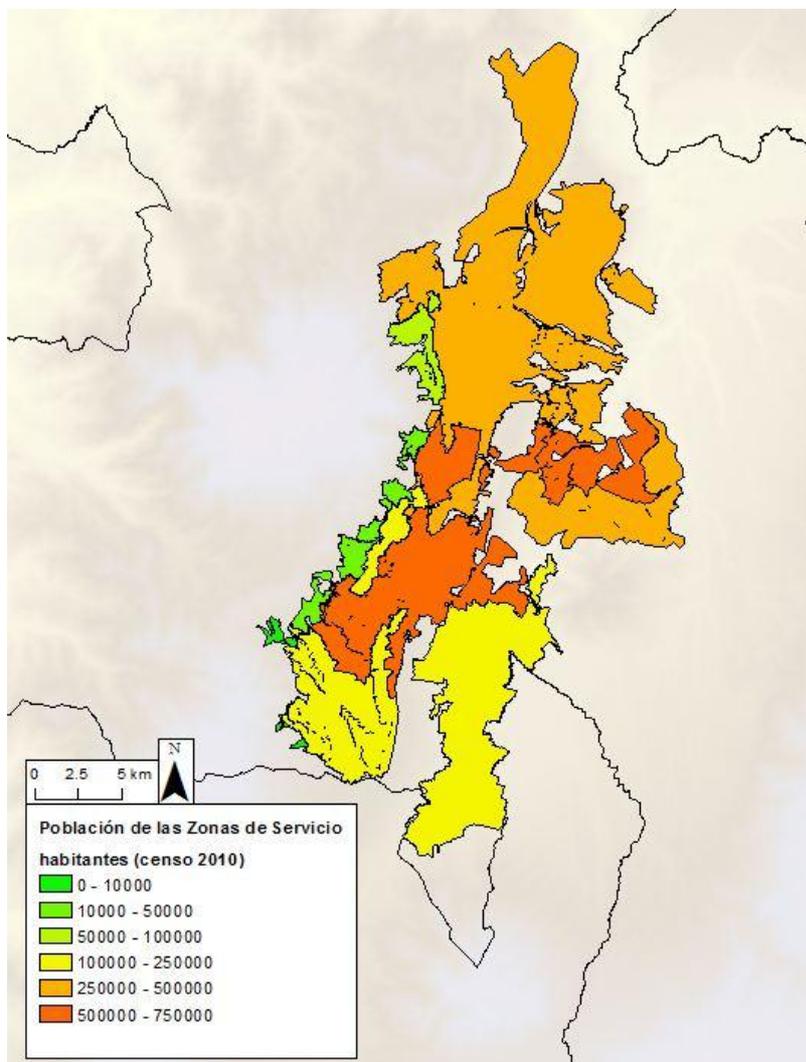


Figura 21 Mapa de población de las zonas de servicio en base al censo del 2010. Las estadísticas fueron tomadas directamente del Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el DMQ.

#### EL MODELO DE GESTIÓN DEL RECURSO AGUA PARA LA CUENCA DE GUAYLLABAMBA

La información de la demanda contribuye a la construcción de un modelo de gestión integral del agua que evalúa la confiabilidad del suministro. Como se mencionó al inicio de esta sección, el modelo específico utilizado para apoyar este análisis es una aplicación del modelo WEAP para la cuenca de Guayllabamba. La Figura 22 es la representación de la interface gráfica del usuario en el modelo WEAP utilizado para apoyar el análisis de la vulnerabilidad en el sector agua.

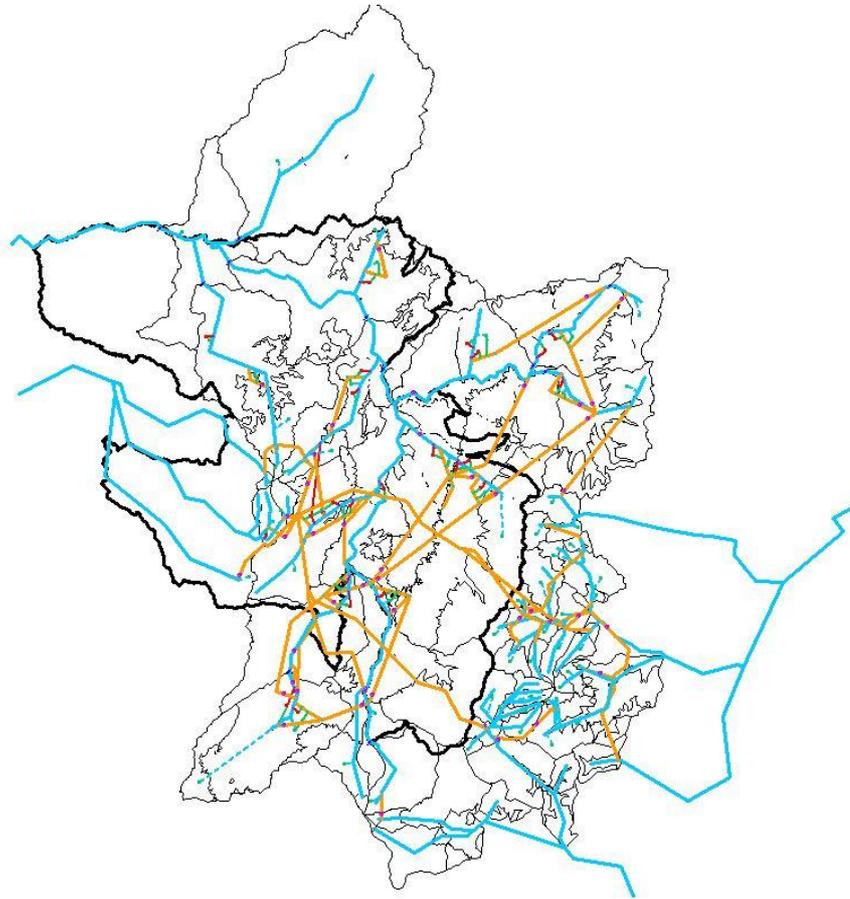


Figura 22 Esquema del modelo WEAP para la cuenca de Guayllabamba

El modelo WEAP para la cuenca de Guayllabamba contempla un modelo de lluvia-escorrentía que traduce en valores de caudales entradas climáticas y caracterizaciones de la cobertura vegetal, así como los objetos del modelo para representar la infraestructura hidráulica (tomas de agua, red de alimentación, plantas de tratamiento, tanques de almacenamiento, red de distribución, etc.) que se utiliza para los suministros y satisfacer las demandas hídricas representadas en el modelo.

Cabe señalar que esta aplicación del modelo WEAP se desarrolló originalmente para apoyar la planificación y el análisis integrado de los recursos hídricos en la cuenca del Guayllabamba. Sin embargo este modelo tiene los elementos necesarios para desarrollar un análisis de vulnerabilidad del sector agua para el DMQ.

Como tal, el modelo no incluye los elementos relacionados con los planes de expansión y mejoramiento futuro del sistema, y las políticas del EMAAP-Q en el suministro y conducción del recurso agua para uso urbano. No obstante, el modelo cuenta con todos los elementos

claves existentes del sistema de suministro de agua potable del DMQ, incluyendo la capacidad de simulación de caudales en los puntos de toma de las cuencas aportantes; las limitaciones físicas sobre la capacidad para conducir el agua desde las cuencas aportantes a las zonas de servicio; y la relación entre la población y la demanda de agua en zonas de servicio.

Al ejecutar el modelo se emplea la información histórica de clima, la cobertura original del suelo en las cuencas hidrográficas de estudio y los niveles actuales de población y demanda per cápita. El cruce de estas variables para las condiciones actuales evidencia un equilibrio entre el suministro y demanda, denotando un 100% de confiabilidad del sistema. Dicho de otra manera, la demanda en las condiciones actuales es cubierta completamente (Figura 23). Estos resultados obtenidos con el modelo WEAP coinciden con argumentos técnicos expuestos por EPMAAP-Q y técnicos de SEI, y además concuerdan con los datos presentados en el Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el DMQ (Hazen and Sawyer 2009).

El indicador de cobertura de la demanda de agua potable para el DMQ ha sido seleccionado como el nivel de vulnerabilidad del sector agua con respecto a la pregunta clave considerada de las políticas relevantes. En la Figura 23 se presenta el mapa de las áreas de servicio en color verde representado un 100% de confiabilidad.

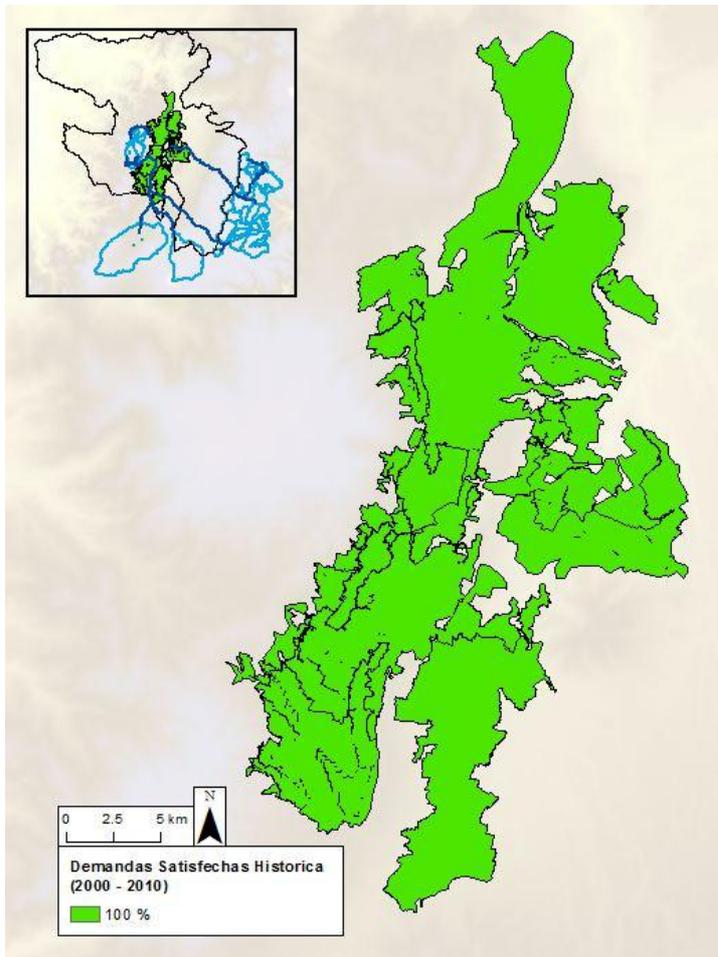


Figura 23 Cobertura de demandas en base a condiciones históricas del modelo WEAP del período 2000-2010. En este se satisface en un 100% la demanda

El análisis evidencia que el sistema de suministro actual del sistema de agua potable del EMAAP-Q, bajo los diferentes supuestos tomados en el estudio y la composición del modelo WEAP, para representar el suministro y la demanda de agua potable del DMQ; se puede especular bajo condiciones actuales que las cuencas aportantes tienen capacidad de suministro de la demanda actual.

Este es un resultado positivo para el DMQ y es coherente con la impresión general que tienen los gestores del agua dentro de EMAAP-Q con respecto a la confiabilidad del sistema. No obstante, ***¿qué pasaría en las cuencas aportantes si existieran cambios en el clima y del uso del suelo en ausencia de gestión territorial?*** El abordaje de esta problemática sugiere la configuración de un escenario futuro de vulnerabilidad. Para ello es necesario recopilar una serie de escenarios narrativos relacionados con el cambio climático, el cambio de uso del suelo y el crecimiento de la población, como marco referencial de utilidad para definir un escenario

de vulnerabilidad futuro definido por el indicador de confiabilidad del suministro de agua potable.

En esta parte del estudio no se consideran otros tipos de cambios y/o incertidumbres que juegan un papel importante a futuro, como por ejemplo (i) el crecimiento per-cápita a futuro; (ii) las necesidades de expansión de sistemas de conducción, tratamiento, almacenamiento e infraestructura que EPMAAP-Q requeriría para nuevas líneas de conducción en cuencas aportantes; (iii) incremento del consumo diario de agua por persona dentro del DMQ, y (iv) cambios en consumo de agua por zonas de servicio (incrementos o decrementos en zonas de servicio), etc.

Los componentes de los escenarios a analizar se caracterizan por:

- El aumento de la temperatura a lo largo de las cuencas aportantes
- El aumento en la frecuencia de la sequía sobre las cuencas aportantes
- La disminución de la superficie ocupada por el páramo en las cuencas aportantes
- El aumento de la población en las áreas de servicio

#### COMPONENTES DE LA TEMPERATURA A FUTURO EN LAS CUENCAS APORTANTES

Para determinar la temperatura a futuro se aplicaron valores medios anuales de temperatura para el período 2007 -2050 en los escenarios de emisiones de carbono altas (vía concentración relativa (RCP) 8.5)<sup>10</sup>. Los incrementos previstos hasta el año 2050 como modelados por Worldclim se interpolan linealmente del 2007 al 2050 y se aplican a valores históricos a fin de obtener un aumento gradual de la temperatura, mientras que se mantiene la variabilidad natural de año en año. En la Figura 24 se presenta un mapa de la temperatura media anual para la década 2040-2050. En la Figura 25 se presenta la diferencia en porcentaje respecto a los datos históricos.

---

<sup>10</sup> Base de datos de resolución 1km de Worldclim.org fueron usados representando los promedios mensuales previstos por 2050. 5 modelos de CMIP-5 fueron elegidos y dado valores promedios para producir un conjunto de datos más robustos. (CCSM4, CNRM-CM5, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR)

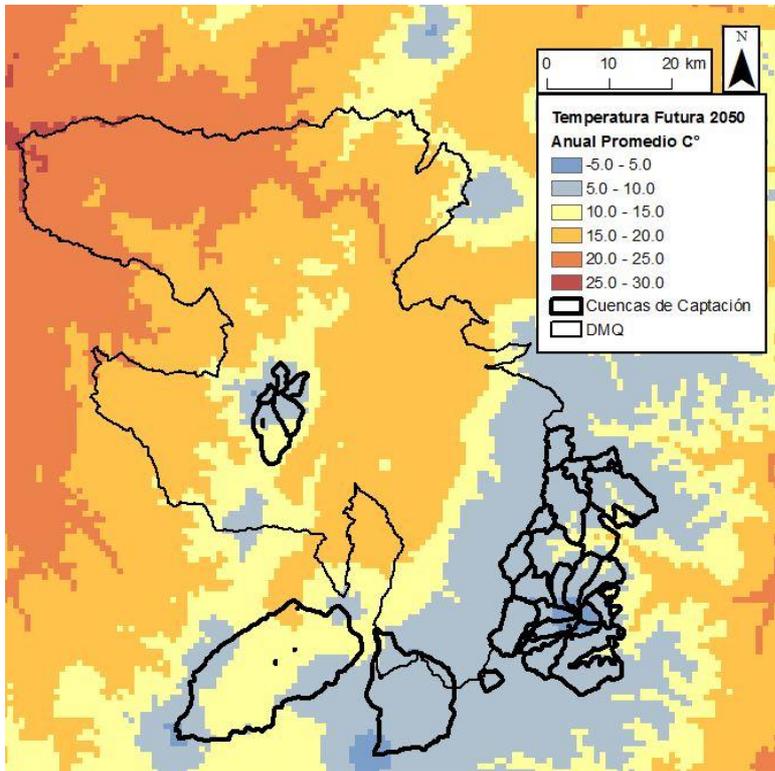


Figura 24 Valores de temperatura promedio anual al año 205 en la región del DMQ.

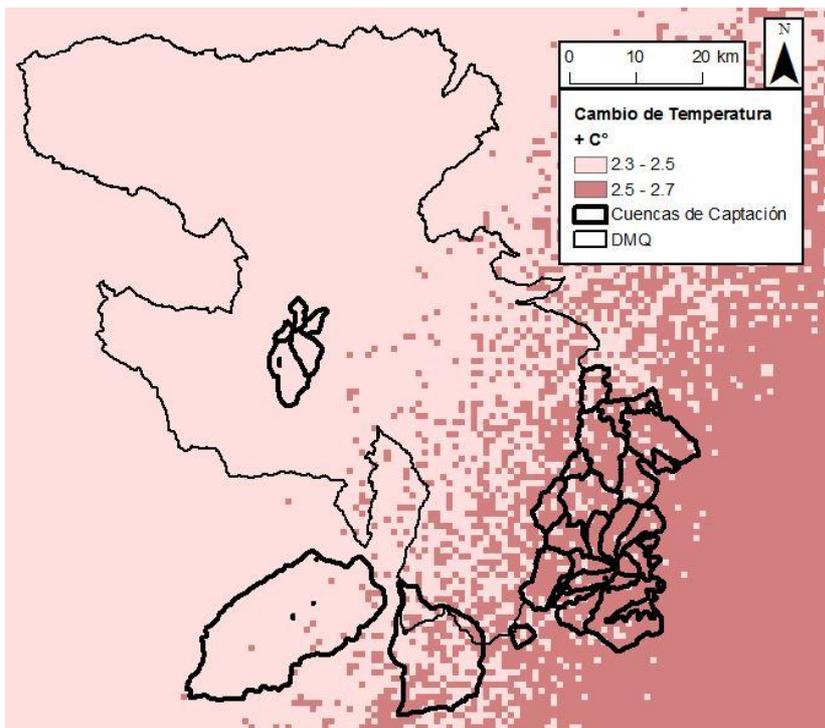


Figura 25 Diferencia en temperatura media anual del periodo (1960 – 2012 al 2050) en la región del DMQ.

## COMPONENTES DE LA PRECIPITACIÓN A FUTURO EN LAS CUENCAS APORTANTES

Dado que las predicciones futuras de precipitación no son concluyentes con respecto a grandes aumentos o disminuciones, la mayor amenaza sería años sucesivos de sequía. Por lo tanto, los niveles de precipitación a partir de 3 años históricamente secos (1992, 1995, 2001) se repiten en ciclos de sequía de 3 años durante el periodo 2007 - 2050. Esto arroja un decremento promedio ficticio de 34% en las precipitaciones del DMQ respecto a los valores históricos. Este decremento es una incertidumbre que hay que tomar con precaución. Si bien es muy poco probable que los años futuros sean tan secos como estos, la simulación está destinada a demostrar cómo el sistema responde en un escenario de sequía continua a lo largo del tiempo, y más aun con aumentos de temperaturas y población como se describe más adelante.

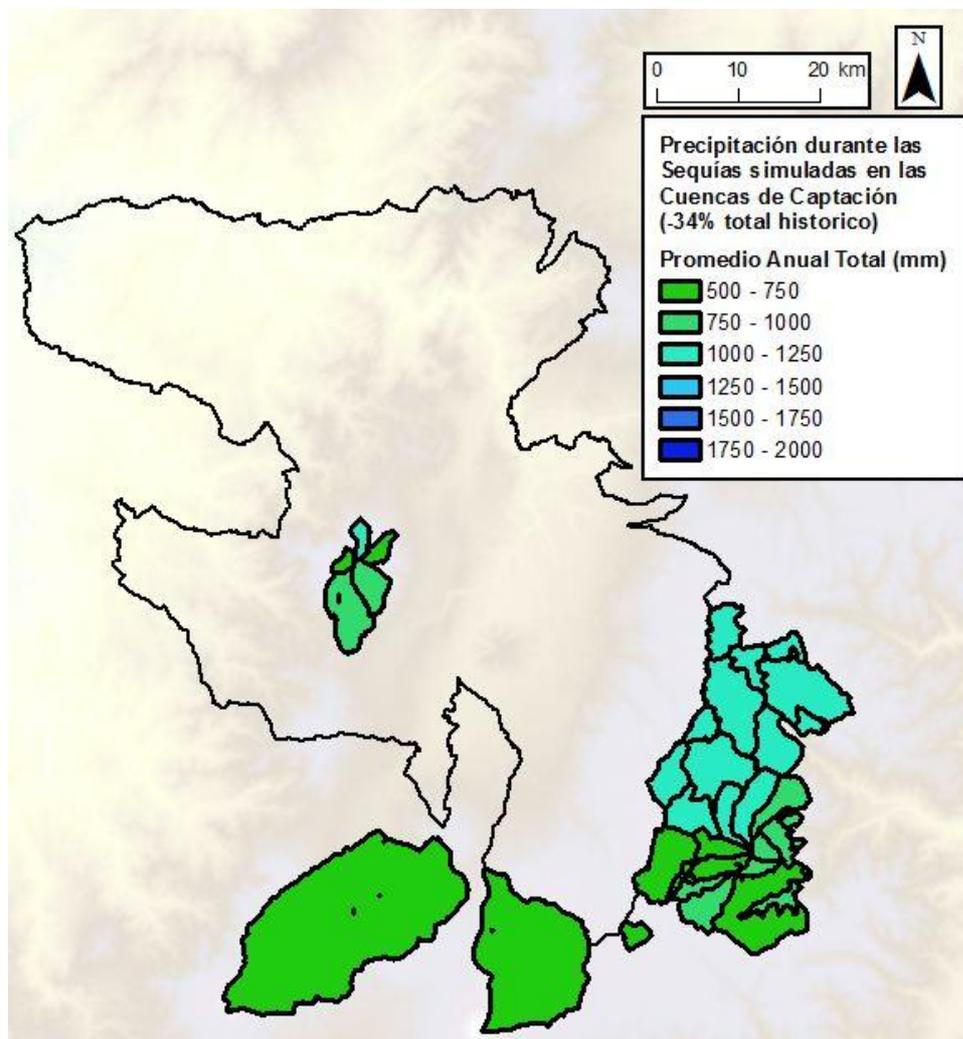


Figura 26 Rangos medios de precipitaciones en la simulación con periodos de sequía. En promedio se redujo un 34% la precipitación histórica en las cuencas de aporte.

#### COMPONENTES DE LA COBERTURA DEL SUELO A FUTURO EN LAS CUENCAS APORTANTES

En el análisis de vulnerabilidad del ecosistema de páramos del DMQ (elevación > 3800 msnm) en relación con cambios en la frontera agrícola se han modelado los efectos del cambio de uso del suelo en la generación del recurso hídrico en las cuencas aportantes. La expansión de la frontera agrícola en estas cuencas se explicaría sólo por la agricultura temporal (el modelo cuenta con superficies agrícolas bajo riego y de temporal), y por lo tanto se puede decir que no habría ningún movimiento adicional de agua en todo el sistema con el fin de satisfacer las demandas agrícolas. No obstante, las características de los suelos (es decir la capacidad de retención de agua del suelo) así como otras propiedades del mismo se reducen al convertir el área de páramo en zona agrícola.

Los cambios en el uso del suelo se aplicaron gradualmente, interpolando este cambio a lo largo de los años 2007 – 2050, como se predice en el sector agrícola. Las cuencas específicas en las que se hicieron cambios (> 3800 msnm) se identifican en la Figura 27, donde se presenta el grado de cobertura de páramos en cada una de las cuencas del modelo WEAP para la cuenca de Guayllabamba. El grado de cobertura de páramos en cada una de las cuencas fue tomado del informe de investigación desarrollado por The Nature Conservancy (Verduga, L., V. Zak y M. Guevara 2007). Los cálculos aproximados del análisis se utilizaron para valores finales al año 2050 en aumento de la superficie cultivada en porcentaje (o reducción del páramo) como se presenta en la Figura 28. Los cambios en porcentaje del área de páramos se determinaron en base al mapa de sensibilidad de la zona. Dicho mapa se presenta en la Figura 29, cuya fuente es el Sector Agricultura. Para mayor información revisar el Sector Agricultura en la sección titulada “Exposición y Vulnerabilidad de los Páramos del DMQ al Incremento de Temperaturas”.

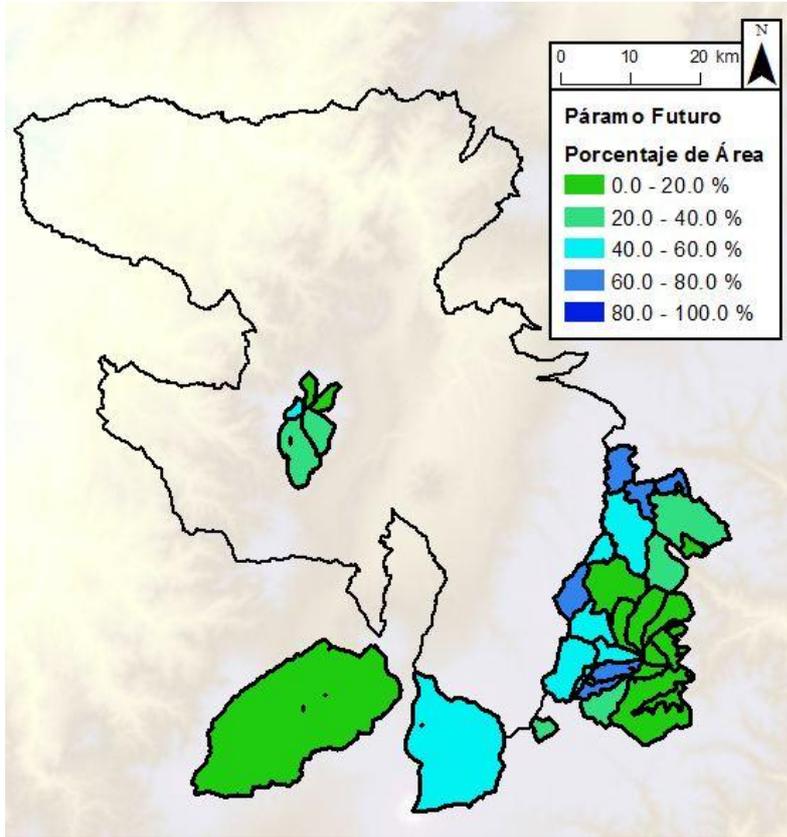


Figura 27 Porcentaje de cobertura de Paramos al año 2050. Datos tomados del Modelo WEAP para la cuenca de Guayllabamba, cuya fuente original es TNC.

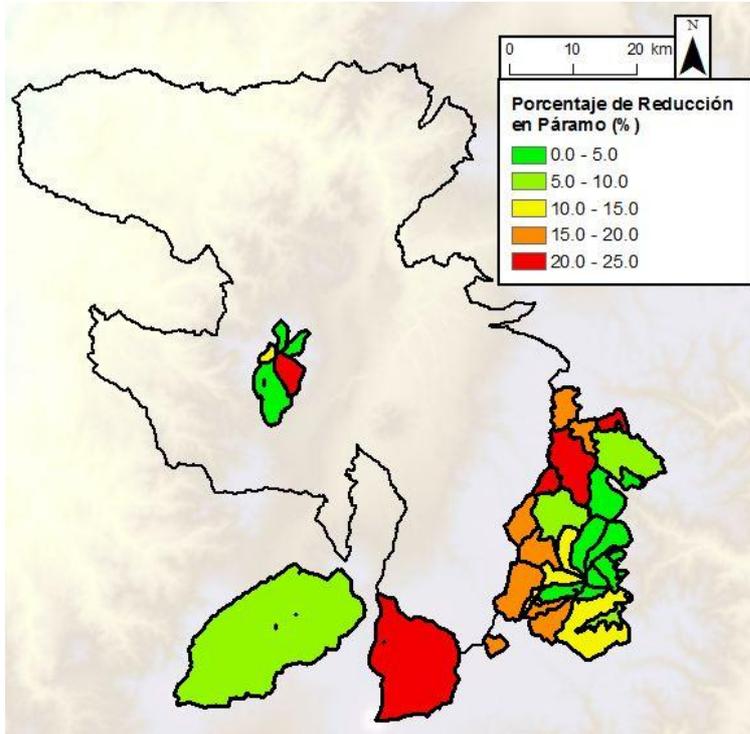


Figura 28 Reducción en % de área de páramos por cuenca de aporte en el DMQ

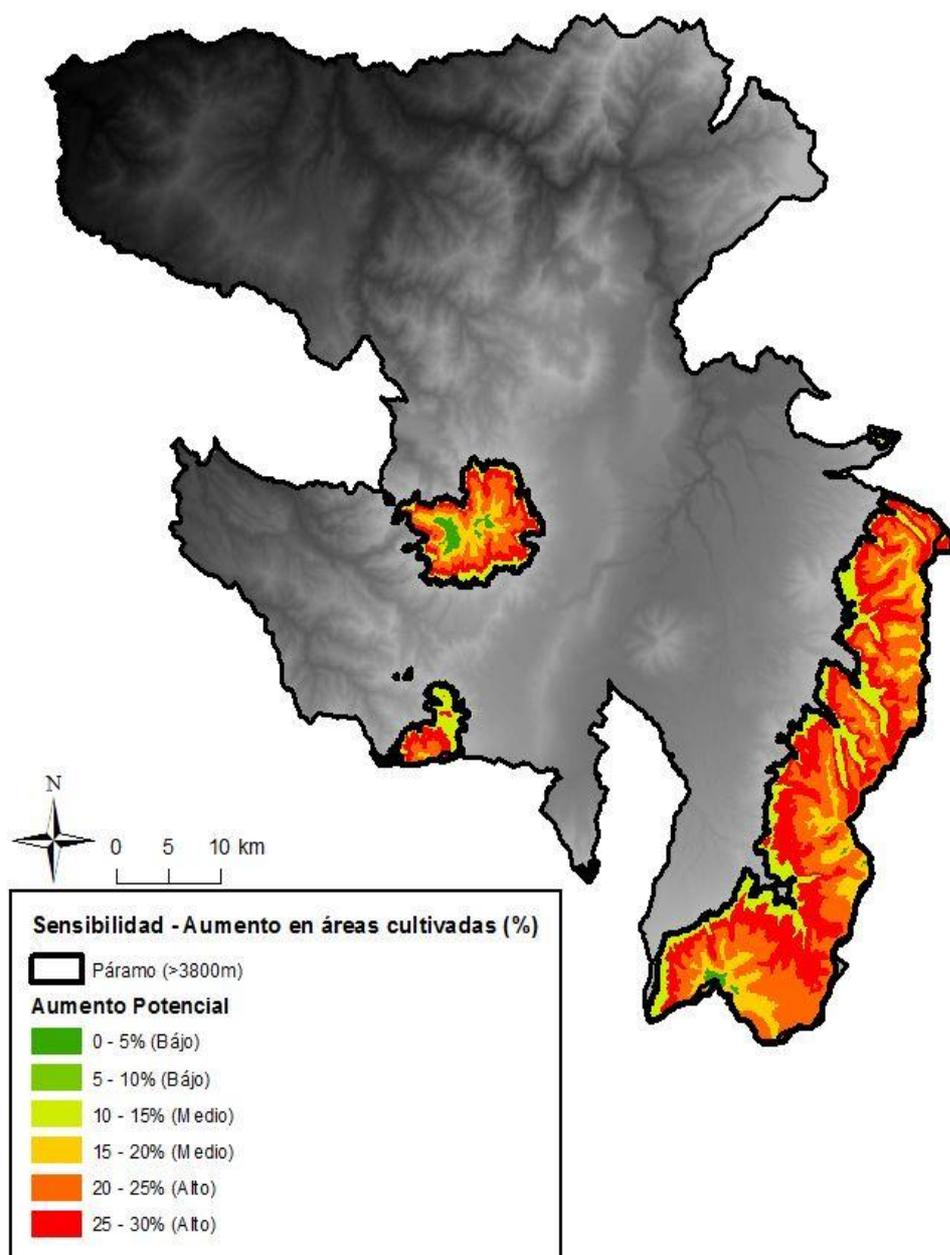


Figura 29 Cambio potencial de las zonas de páramos para el DMQ. Fuente: Sector Agricultura en este estudio.

#### COMPONENTES DE LAS ÁREAS DE SERVICIO A FUTURO EN LAS CUENCAS APORTANTES

El crecimiento demográfico en las zonas de servicio (Figura 30) se mantuvo de acuerdo a las tendencias de crecimiento determinadas para las 10 zonas de servicio del sistema de abastecimiento de agua potable, a partir de las proyecciones del Plan Maestro de EMAAP - Q del 2009 al 2050 (Hazen and Sawyer 2009 - Anexo 9) (Figura 16). En el Plan Maestro de EMAAP-Q se tienen proyecciones de crecimiento de población al año 2040 únicamente, por lo que se realizó una extrapolación al año 2050, para de esta forma completar la serie proyectada a

futuro. Seis de estos sitios de demanda ubican dentro del DMQ, mientras que cuatro se localizan en cantones vecinos, y que son usuarios de agua del sistema de Guayllabamba. El resultado refleja que la población total que se abastece de la Cuenca de Guayllabamba es un poco mayor a la del total del DMQ.

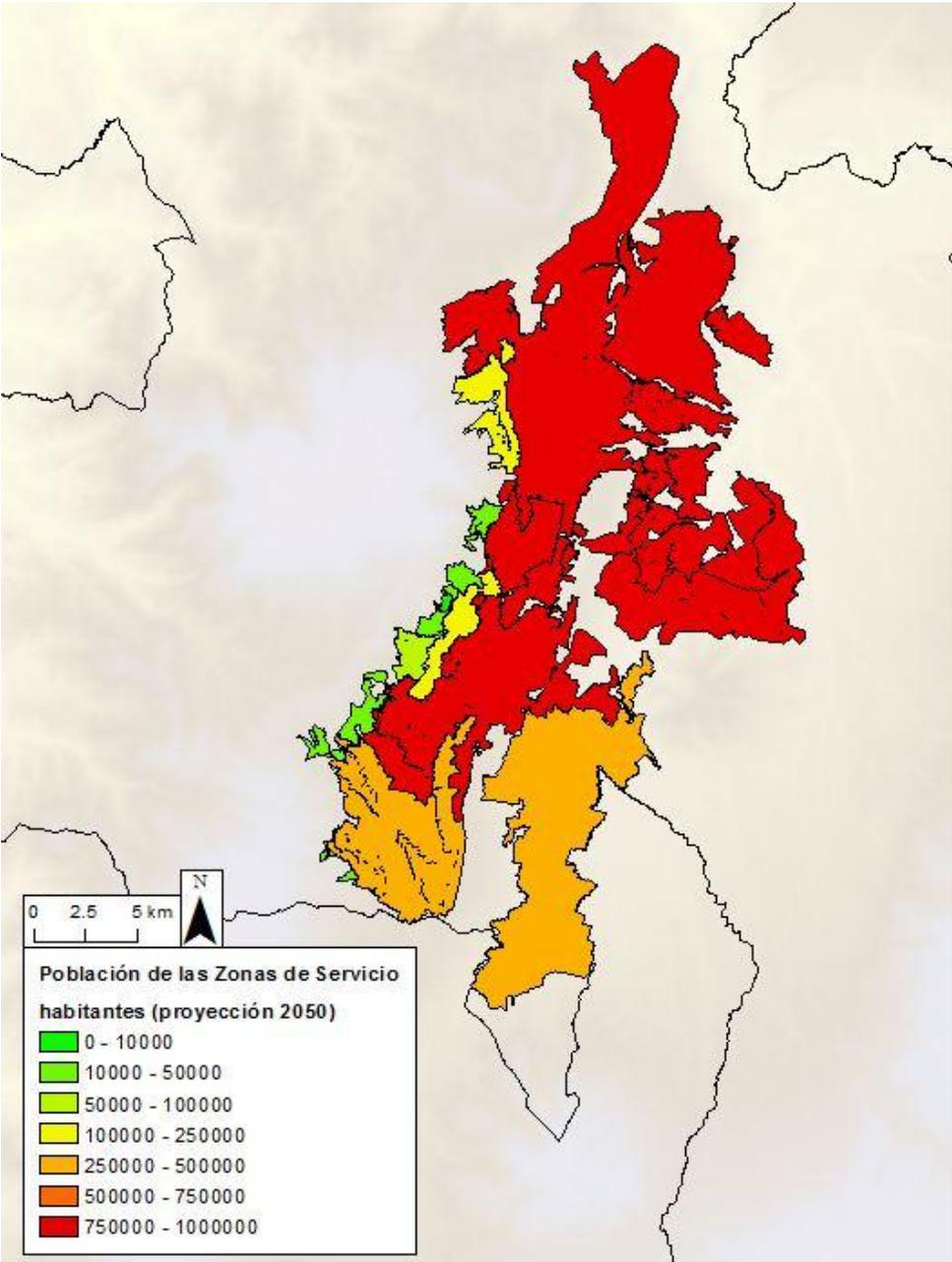


Figura 30 Población futura de las zonas de servicio al año 2050 de acuerdo al Plan Maestro de EMAAP-Q

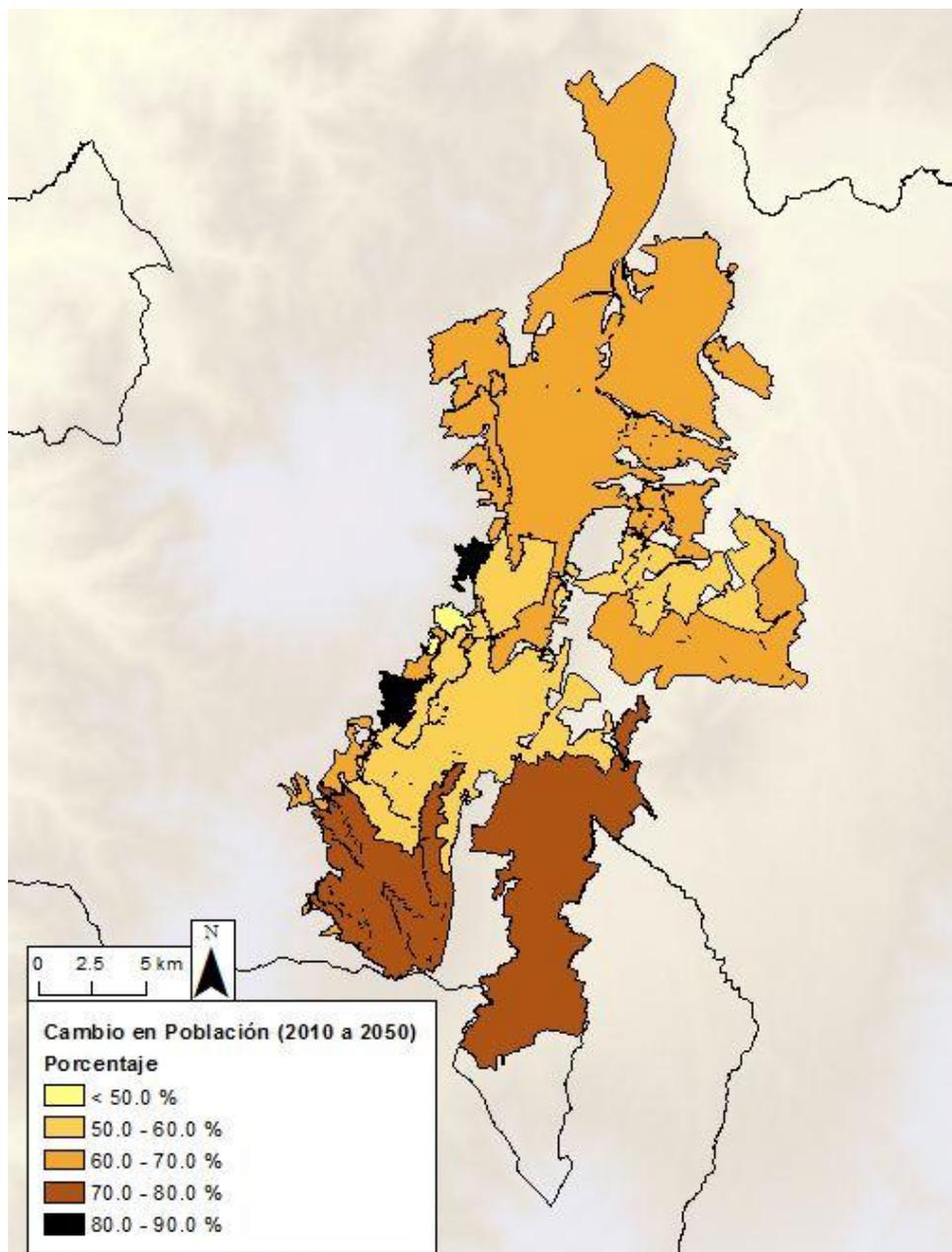


Figura 31 Cambio en % de población por zona de servicio al año 2050 en función de los pronósticos de crecimiento de población del Plan Maestro de EMAAP-Q.

Con el fin de evaluar los posibles cambios futuros en la vulnerabilidad del sector agua, a partir de los componentes mencionados anteriormente prevén cinco escenarios posibles de vulnerabilidad que afectarían el abastecimiento de las zonas de servicio de agua potable de la EPMAAP al año 2050, los cuales son:

*Escenario 1: Considerando solo el crecimiento de la población.*

*Escenario 2: Considerando el crecimiento de la población, y aumento de la temperatura*

*Escenario 3: Considerando el crecimiento de la población, aumento de la temperatura, y períodos prolongados de sequía.*

*Escenario 4: Considerando el crecimiento de la población, aumento de la temperatura, y la pérdida del páramo.*

*Escenario 5: Considerando el crecimiento de la población, aumento de la temperatura, períodos prolongados de sequía, y la pérdida de páramo.*

La información contenida en cada uno de estos escenarios fue utilizada para desarrollar nuevas corridas del modelo WEAP. Estos modelos determinan la cobertura de la demanda de agua potable definida en las zonas de servicio del DMQ calculada para un período que cubre hasta el año 2050. Estos resultados se muestran en la Tabla 9 para las décadas 2010-2020, 2020-2030, 2030-2040, y 2040-2050.

Tabla 9 Niveles de cobertura por escenario de modelación por década

Escenario	CREC POB	TEMP + CREC POB	TEMP + SEQUIA + CREC POB	TEMP + CULT_PARAM + CREC POB	TEMP + SEQUIA + CULT_PARAM + CREC POB
Periodo	% de Cobertura	% de Cobertura	% de Cobertura	% de Cobertura	% de Cobertura
2000 - 2010	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2010 - 2020	100.0	100.0	99.8	100.0	99.8
2020 - 2030	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2030 - 2040	100.0	100.0	97.2	100.0	97.1
2040 - 2050	99.5	99.0	90.0	98.9	90.0
Peor Escasez	91.3	88.1	77.9	87.9	77.3
Fecha de peor escasez	Ene-2049	Ene-2049	Oct-2048	Ene-2049	Ene-2048

En esta sección se presentan los resultados para el horizonte temporal de la década del 2040-2050, aplicando una serie de umbrales para definir los diferentes niveles de vulnerabilidad, como se define a continuación:

Cobertura de la demanda > 90%; Vulnerabilidad: Baja  
 80% < cobertura de la Demanda < 90%; vulnerabilidad: Media  
 Cobertura de la Demanda < 80%; Vulnerabilidad: Alta

En aplicación del modelo WEAP para la cuenca de Guayllabamba, toda la demanda de agua en las zonas urbanas del DMQ se ha agregado a un único nodo de demanda que pueda recibir agua de todas las cuencas aportantes gestionadas por el EPMAAP-Q. Las zonas de servicio individuales se conectan principalmente a las cuencas hidrográficas aportantes y al acceso secundario de otras fuentes a través de interconexiones entre el sistema de captación y las plantas de tratamiento. Si bien estos datos no son capturados en la versión actual del modelo WEAP, es posible asumir que las zonas de servicio que experimenten un mayor aumento de la población en relación con las condiciones históricas, serán más vulnerables a las reducciones futuras en términos de la cobertura de la demanda. De igual forma, las áreas de servicio que experimenten un crecimiento menor en demanda tendrán una menor vulnerabilidad.

Este análisis se fundamenta en el supuesto de que la capacidad de distribución instalada es intermitente y la capacidad de las plantas de bombeo fue calibrada para representar la distribución y la demanda actual en toda el área de servicio del EMAAP-Q. Con esto se puede definir un conjunto de umbrales de vulnerabilidad relacionados con el crecimiento de la población, como se define a continuación:

*Cambio de Población 2007-2050 < 60%; Vulnerabilidad: Baja*  
*60% < Cambio de Población 2007-2050 < 70%; Vulnerabilidad: Media*  
*Cambio de Población 2007-2050 > 70%; Vulnerabilidad: Alta*

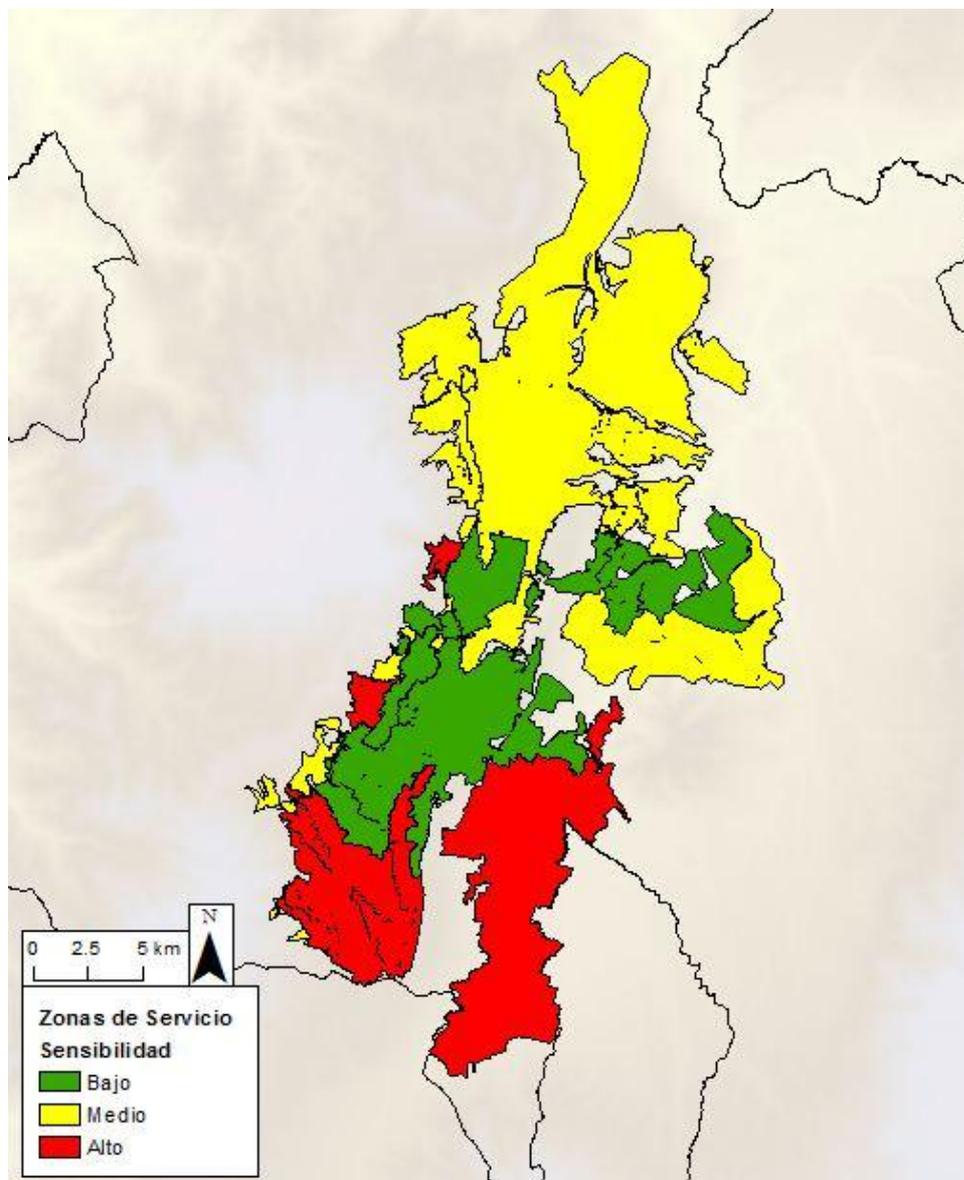


Figura 32 La sensibilidad de las áreas de servicio en base a incremento de población previsto para el año 2050.

La aplicación de umbrales de crecimiento demográfico para el período 2040-2050 y para cada uno de los cinco escenarios narrativos genera los mapas de seguimiento de la vulnerabilidad según la cobertura de la demanda de agua simulada y el cambio de la población a través de las áreas de servicio.

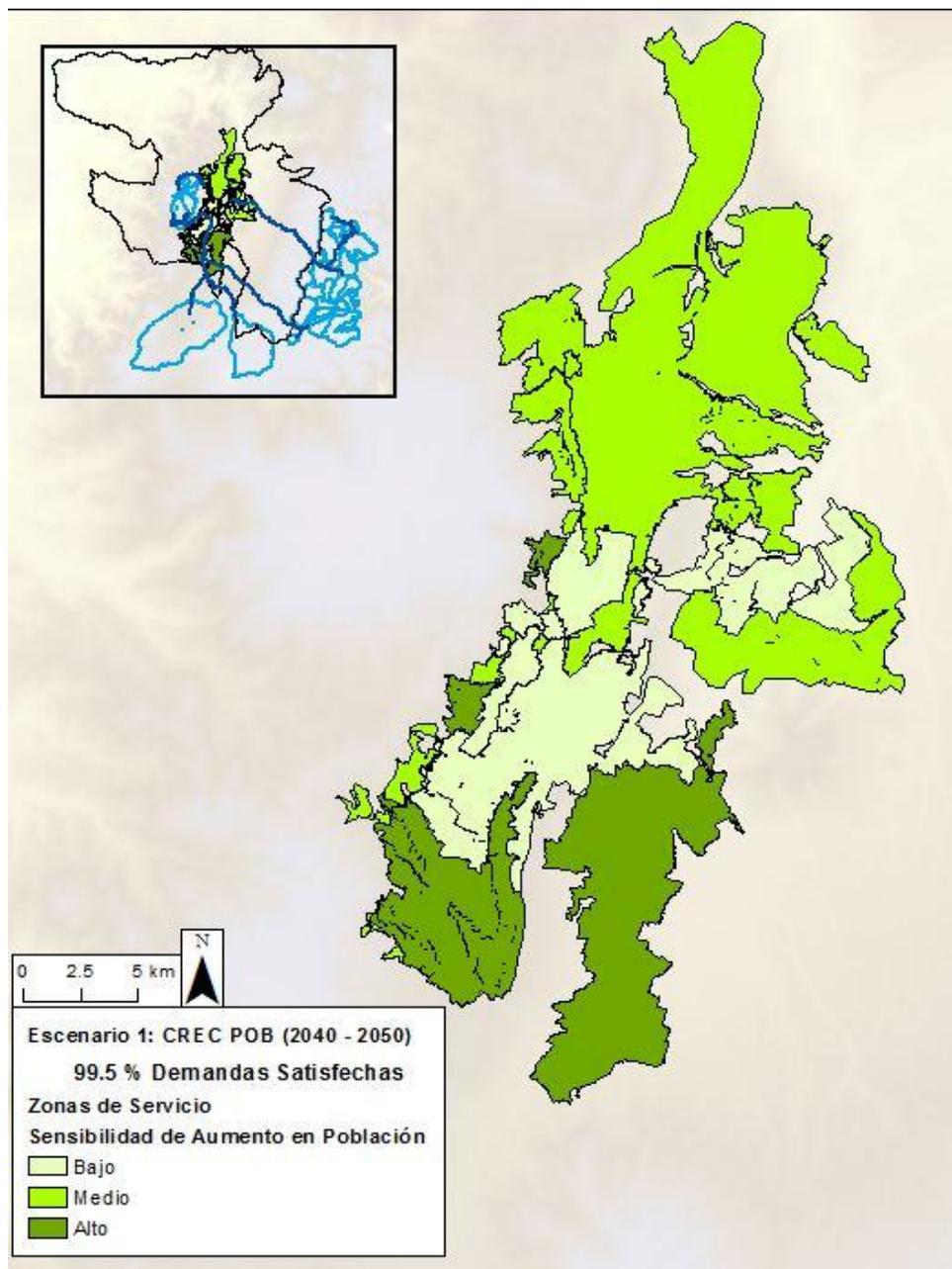


Figura 33 Escenario WEAP 1. Aumento de la población únicamente. Se satisface el 99.5% de la demanda de agua urbana de Quito, los tonos verdes indican diferencia de sensibilidad basada en aumento de la población.

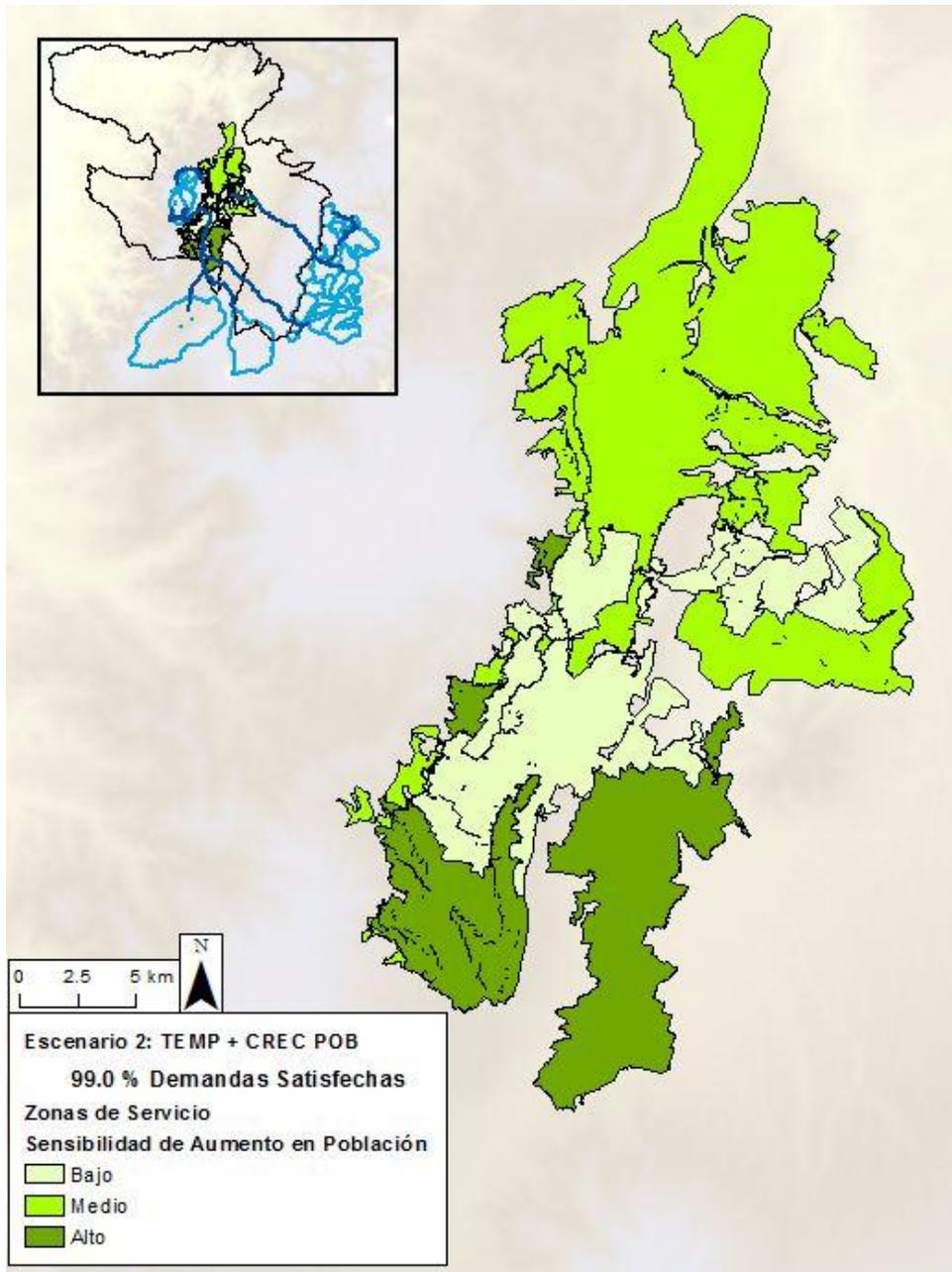


Figura 34 Escenario WEAP 2. Se considera un aumento de la temperatura y población. Se satisface el 99.0% de la demanda de agua urbana de Quito, los tonos verdes indican diferencia de sensibilidad basada en aumento de la población.

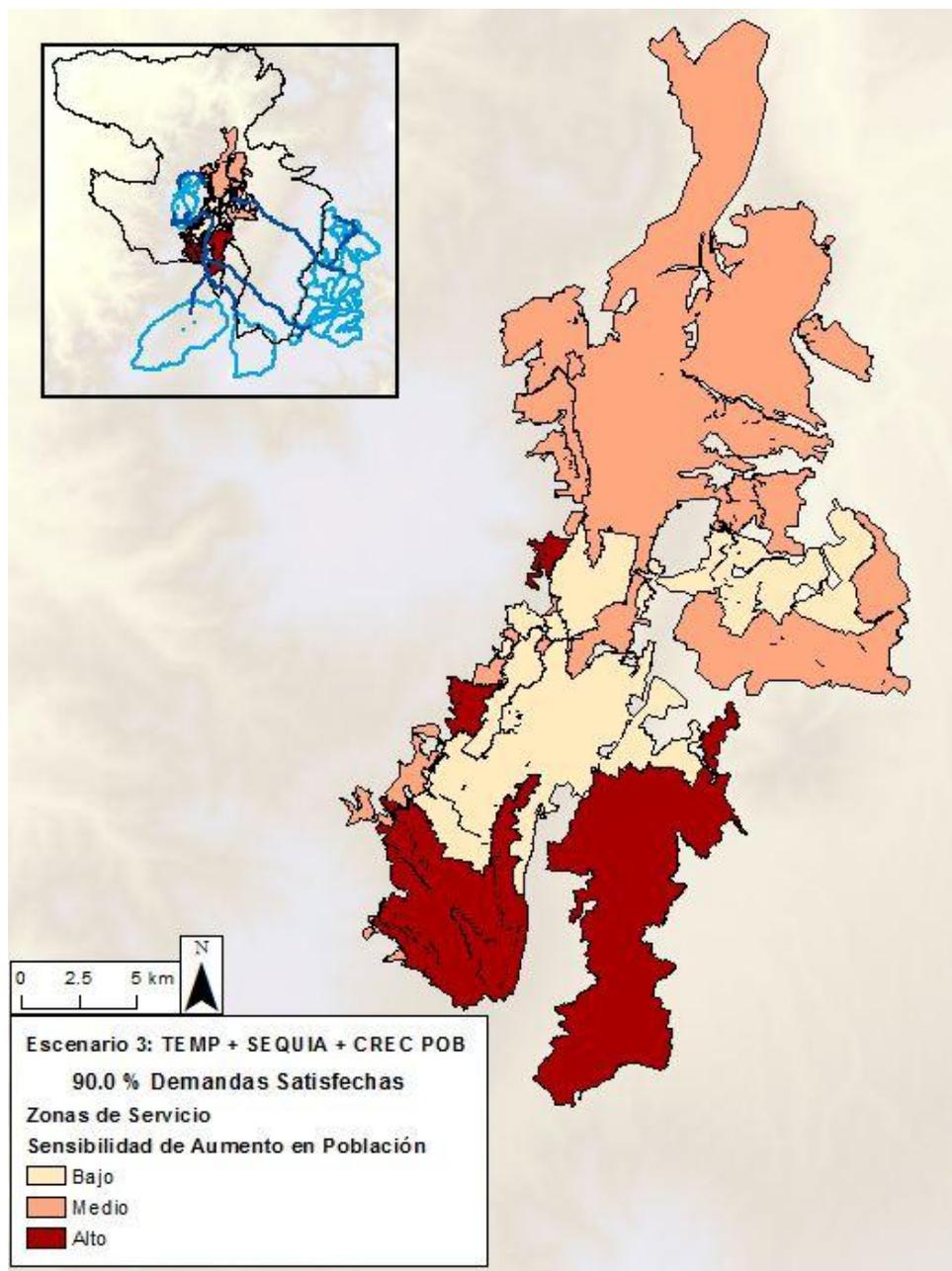


Figura 35 Escenario WEAP 3. Se considera un aumento de la temperatura, población, y la presencia de sequías. Se satisface el 90.0% de la demanda de agua urbana de Quito, los tonos rojos indican diferencia de sensibilidad basada en aumento de la población.

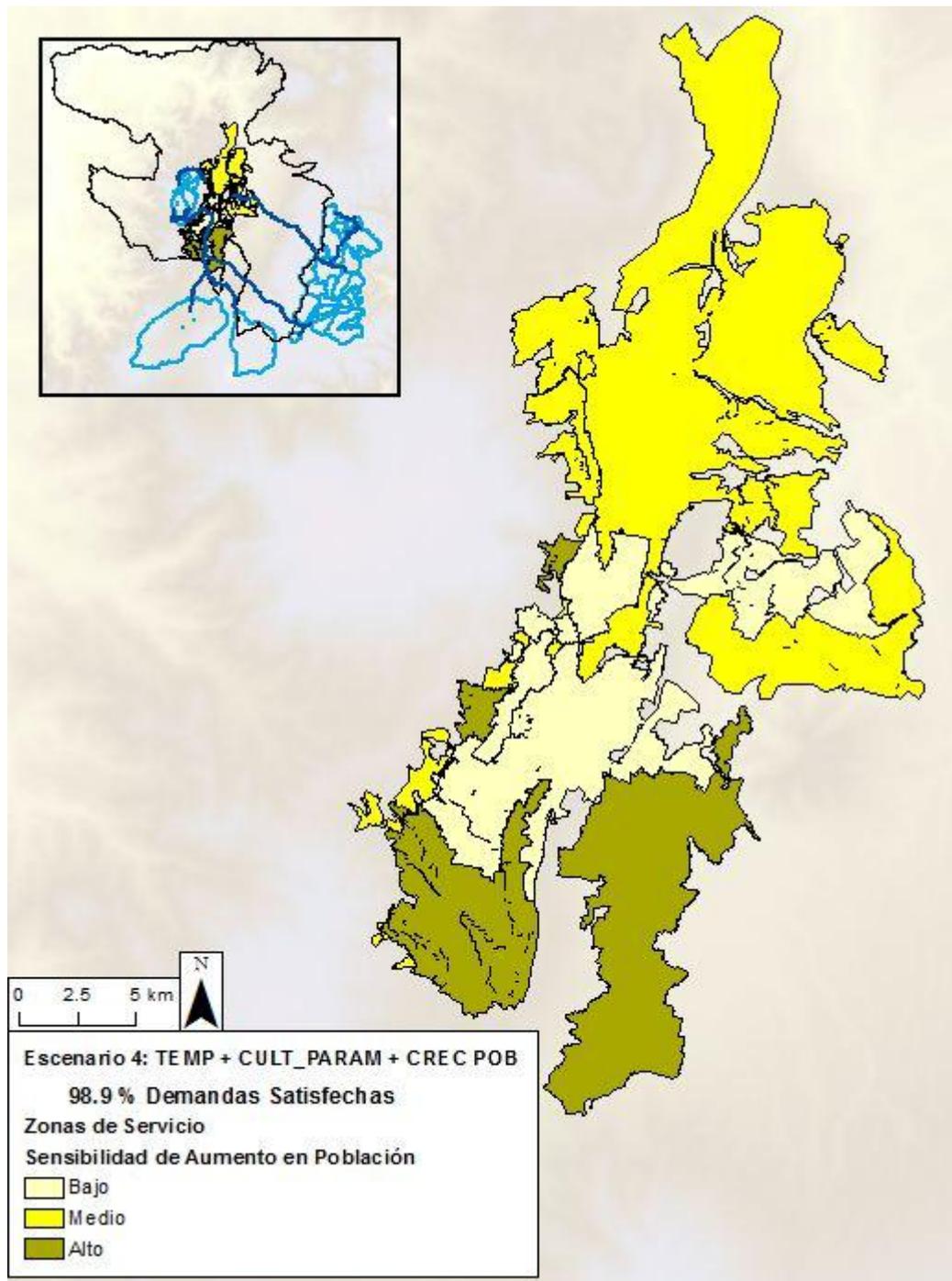


Figura 36 Escenario WEAP 4. Se considera un aumento en la temperatura, población, y el cultivo de los páramos.

Se satisface el 98.9% de la demanda de agua urbana de Quito, los tonos en amarillo indican diferencia de sensibilidad basada en aumento de la población.

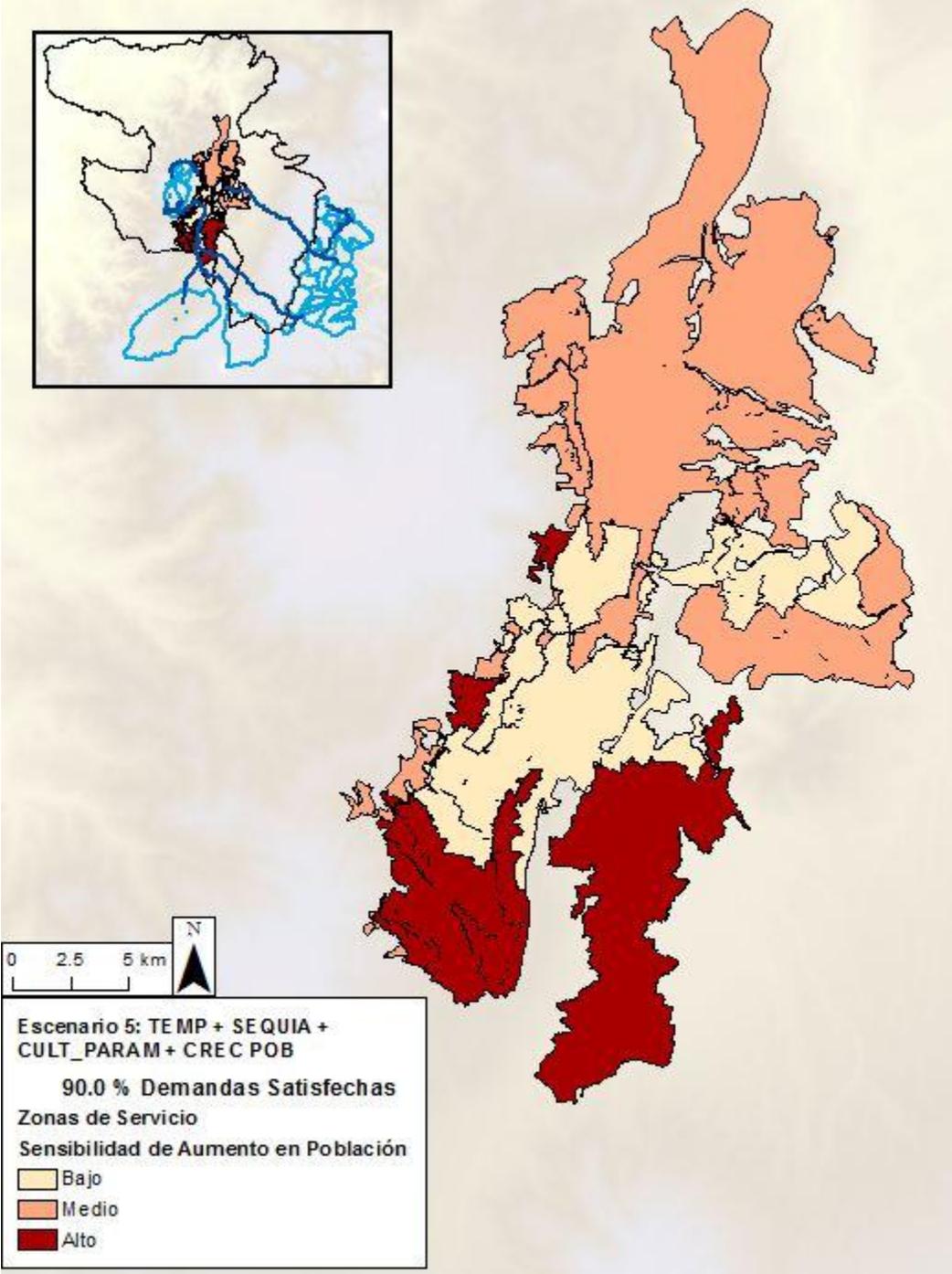


Figura 37 Escenario WEAP 5. Se considera el aumento de la temperatura, población, la presencia de sequías y el cultivo de los páramos.

Se satisface el 90.0% de la demanda de agua urbana de Quito, los tonos rojos indican diferencia de sensibilidad basada en aumento de la población.

#### **14. CONCLUSIONES SECTOR AGUA**

El presente estudio determina la vulnerabilidad actual y proyectada del suministro de agua potable para el DMQ frente a escenarios potenciales de cambio climático. El estudio identifica los efectos potenciales de la variabilidad climática y cambio potencial en el uso y ocupación del suelo en páramos, así como la cobertura de las demandas de agua potable en el DMQ.

Se determinó que la cobertura de agua potable del DMQ proyectada al año 2050 será afectada con valores de un 90% en los escenarios más extremos. Este 90% de cobertura toma en cuenta únicamente los factores considerados en los escenarios 1 a 5. Es importante señalar que el promedio general de la cobertura de las demandas es alto, aunque el modelo muestra limitaciones en cuanto a establecer el aporte significativo de otras fuentes de suministro como las aguas subterráneas.

También es necesario aclarar que los valores estimados de cobertura del suministro de agua potable (Tabla 1) a lo largo de los diferentes escenarios únicamente son el resultado de la combinación del crecimiento de la población, incremento de temperaturas, periodos de sequía más intensos y decremento del área de paramos. El estudio no considera otros tipos de efectos como por ejemplo (i) crecimiento del producto interno bruto per-cápita, (ii) necesidades de expansión del sistema de almacenamiento, conducción, tratamiento, y la infraestructura de distribución que el EMAAP-Q requiere para la conexión de suministros de agua con las fuentes desde las cuencas aportantes, así como (iii) otras fuentes de suministro y sistemas más pequeños localizados en el occidente del volcán Pichincha y ojos de agua locales en sectores rurales, (iv) incrementos en los consumos diarios de agua por persona, y (v) cambios en consumo de agua por zonas de servicio, etc.

En base a lo anterior, se confirmó que la cobertura de la demanda de agua potable en el DMQ para la década 2000-2010 se cubrió en un 100%, resultado que coincide con los obtenidos en el Plan Maestro de EMAAP-Q. Considerando la última década de simulación, 2040-2050, se puede especular que en un futuro habrá problemas en el abastecimiento de agua potable en el DMQ, esto bajo los supuestos considerados en los Escenarios 1 a 5 de este estudio.

Se puede prever que existirían meses en los cuales la EMAAP-Q enfrentaría problemas para garantizar una cobertura total de la demanda. Sobre todo en los Escenarios 3 y 5. En estos escenarios existen meses (enero y octubre de 2048) en los cuales la cobertura de la demanda puede ser del orden de 77%.

Más aún, si se llegará a considerar otros componentes no contemplados en este estudio, el nivel de cobertura sería mucho más desfavorable para la EMAAP-Q y los niveles de cobertura de la demanda serían aún menores, denotando la necesidad de implementar medidas de adaptación como se menciona en el Plan Maestro de EMAAP-Q.

A partir de estos resultados se sugiere realizar una segunda etapa de estudio para el DMQ que contemple las diferentes incertidumbres no consideradas en este estudio. Un listado potencial de estas incertidumbres a evaluar son las siguientes:

1. Necesidades de expansión del sistema de almacenamiento, conducción, tratamiento, y la infraestructura de distribución que el EMAAP-Q requiere para la conexión de suministros de agua con las fuentes desde las cuencas aportantes,
2. Otras fuentes de suministro como sistemas más pequeños localizados en el occidente del volcán Pichincha y ojos de agua locales en sectores rurales,
3. Incrementos del consumo diario de agua por persona,
4. Cambios en consumo de agua por zonas de servicio,

Crecimiento del producto interno bruto per-cápita, etc. Se recomienda que esta segunda etapa de estudio en colaboración con EMAAP-Q se fundamente en la Toma de Decisiones Robustas bajo de escenarios de incertidumbre para sistemas hídricos, un enfoque en el cual el SEI tiene una amplia experiencia probada en diferentes partes del mundo.

## SECTOR ECOSISTEMAS

### 15.4.1 LA FORMULACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DEL SECTOR ECOSISTEMAS

Los ecosistemas nativos del DMQ representan el 60% de su territorio y comprenden 256408 hectáreas (has). En el DMQ existen 2330 especies de plantas vasculares, 542 especies de aves, 111 de mamíferos, 92 de anfibios, 53 de reptiles, 21 de peces y 167 géneros de macroinvertebrados acuáticos (MECN, 2009). Al interactuar con la orografía del DMQ, esta gran diversidad biológica brinda servicios ambientales como la protección de recursos hídricos, la regulación del clima, la protección de los suelos, la prevención de desastres naturales, la conservación de germoplasma autóctono, entre otros (MECN, 2009). Es importante proteger este patrimonio natural a través la planificación y gestión del territorio, ya que el desarrollo local de Quito ha dependido siempre de la adecuada funcionalidad de los ecosistemas que lo rodean (MDMQ-Secretaría de Ambiente, 2011).

Los diferentes tipos de estudios de cobertura vegetal existentes en el DMQ incorporan criterios ecológicos, ambientales y fitogeográficos (Sierra, 1999) (Josse, y otros, 2003). Los tipos de cobertura vegetal que en este estudio se conceptualizan como ecosistemas están distribuidos en un rango altitudinal de entre 500 y 4950 m. En gran parte, la orografía del DMQ determina el microclima y por ende el tipo de ecosistema. El clima es húmedo en la bioregión del Chocó hacia el occidente; hiper-húmedo en las estribaciones y páramos del sistema montañoso que rodea al DMQ, tanto al occidente como al oriente; y seco en los valles interandinos.

Según el último mapa de cobertura vegetal/uso de suelo del DMQ (MDMQ-Secretaría de Ambiente, 2011), el territorio puede clasificarse en áreas de Vegetación Natural (60,5%), Áreas semi-naturales (11,9%), Áreas cultivadas (20,5%), Espacios abiertos (1,1%), Áreas artificiales (5,8%) y Cuerpos de agua (0,001%). La vegetación “natural” comprende los ecosistemas nativos del DMQ; las áreas “semi-naturales”, los bosques de eucalipto y coníferas; las áreas cultivadas, zonas agropecuarias (incluidas zonas de pastoreo); los espacios abiertos abarcan glaciares, rocas, arenales y suelos muy degradados; las áreas artificiales incluyen cualquier tipo de construcción antrópica; y los cuerpos de agua, cualquier formación de aguas superficiales como ríos, lagos, reservorios, etc.

Pese a las iniciativas de planificación y regulación de uso y ocupación del suelo por parte del MDMQ, en las últimas décadas se observa un crecimiento urbano acelerado que está cambiando la cobertura vegetal y uso del suelo en el territorio. Según estadísticas multitemporales del MDMQ basadas en análisis de imágenes LANDSAT de los años 1986, 1996, 2001 y 2009, la tasa de crecimiento de la mancha urbana se estima en 800 has/año, alcanzando en 2009 un área edificada de 23846 has (5,8% del DMQ) (N. Narváez, com. pers.). Además, la población humana del DMQ está aumentando significativamente, alcanzando en

la actualidad los 2`239191 habitantes (Censo 2010). Esta realidad ha creado un efecto de presión sobre los grandes remanentes de ecosistemas nativos. Por ejemplo, en los bosques se registra una tasa de deforestación de aproximadamente 1700 has/año, y en el páramo, de 200 has/año (N. Narváez, com. pers.). Estas amenazas antrópicas se verán agravadas a mediano o largo plazo por el cambio climático (variabilidad climática anómala), cuyo origen último es también antrópico.

El presente estudio identifica niveles de vulnerabilidad en los ecosistemas representativos del DMQ frente a dos tipos de amenazas: (1) aquellas relacionadas con el clásico modelo de desarrollo socioeconómico de una ciudad o país, denominadas en este documento “amenazas no climáticas”; y (2) la relacionada con el incremento de la temperatura media como indicador aceptable del cambio climático, definida en este documento como “amenaza climática”. La información generada permitirá al DMQ identificar áreas específicas en el territorio donde establecer diferentes formas de manejo del patrimonio natural, según la(s) amenaza(s) que se quiera enfrentar.

#### **16.4.2 ETAPA 1: PROCESO DE CONSTRUCCIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO**

Según la metodología adoptada para propiciar la reflexión sobre cada sector prioritario del DMQ (WP2 y WP3), se desarrolló una matriz de preguntas potenciales referidas al sector ecosistemas según el ámbito de estudio, los datos disponibles y las unidades potenciales de análisis. La versión original de esta matriz (Anexo 1) fue discutida con los especialistas del sector de ecosistemas, quienes evaluaron la factibilidad de responder a las preguntas planteadas.

#### **17.4.3 ETAPA 2: DEFINICIÓN DE LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

Se definieron tres preguntas (ver Anexo 1). A partir de las preguntas, se plantean los siguientes objetivos específicos:

(1) Evaluar la vulnerabilidad presente de los ecosistemas de interés frente a las amenazas no climáticas de origen antrópico.

(2) Evaluar la vulnerabilidad futura de los ecosistemas de interés frente a la amenaza climática de incremento gradual de temperatura promedio anual.

#### **18.4.4 ETAPA 3: VARIABLES DE VULNERABILIDAD (AMENAZAS, EXPOSICIÓN Y SENSIBILIDAD)**

##### **CATEGORÍAS DE ECOSISTEMAS ANALIZADOS**

Las cuatro categorías de ecosistemas analizados fueron escogidas en discusión conjunta con técnicos de la Secretaría de Ambiente (SA), priorizando aquellos ecosistemas que tienen mayor presión antropogénica y que son de interés de la SA-DMQ por diferentes razones (Tabla 10, Figura 38).

Categoría de ecosistemas (unidad de análisis)	Ecosistemas que se incluyen en cada categoría (según Nivel III del Mapa de Cobertura Vegetal 2011)	Área (ha) en 1986 (% del DMQ)	Área (ha) en 2009 (% del DMQ)
<p><b>Arbustales secos y relictos de bosque seco.</b> Este ecosistema es el de mayor interés para el MDMQ debido a que se le considera altamente amenazado por su cercanía a poblaciones urbanas, superficie reducida y alto nivel de fragmentación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bosque seco interandino.</li> <li>• Vegetación ribereña del piso montano xerófito.</li> <li>• Arbustal seco interandino.</li> <li>• Vegetación saxícola montana interandina de los Andes del Norte.</li> </ul>	24 909,6 (5,9%)	42 018,77 <sup>11</sup> (9,90%)
<p><b>Vegetación paramuna.</b> Este ecosistema es el segundo de mayor interés para el MDMQ por su importancia en el almacenamiento y disponibilidad del recurso hídrico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbustal bajo y matorral altoandino paramuno.</li> <li>• Vegetación geliturbada y edafoxerófila subnival paramuna.</li> <li>• Bofedal altoandino paramuno.</li> <li>• Pajonal altimontano y montano paramuno.</li> <li>• Pajonal edafoxerófilo altimontano.</li> </ul>	63 426,3 (14,95%)	46 248,89 (10,9%)

---

<sup>11</sup> La tabla muestra que el ecosistema xerófito incrementó su extensión de 1986 al 2009. Sin embargo, esto podría deberse un error de clasificación de las imágenes satelitales analizadas o a un error en el procesamiento informático *a posteriori*. Es extraño que los datos muestren un incremento de cobertura ya que es evidente que la extensión del ecosistema xerófito del DMQ se ha reducido significativamente en las últimas décadas por la gran expansión que de la mancha urbana.

Categoría de ecosistemas (unidad de análisis)	Ecosistemas que se incluyen en cada categoría (según Nivel III del Mapa de Cobertura Vegetal 2011)	Área (ha) en 1986 (% del DMQ)	Área (ha) en 2009 (% del DMQ)
<p><b>Bosques húmedos y plantaciones forestales.</b> Este ecosistema es el tercero de mayor interés para el MDMQ debido a su alta biodiversidad y gran capacidad de almacenamiento de carbono.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bosque altimontano norteamericano siempreverde.</li> <li>• Bosque bajo y arbustal altoandino paramuno.</li> <li>• Bosque altimontano norteamericano de Polylepis.</li> <li>• Bosque montano pluvial de los Andes del Norte.</li> <li>• Bosque siempreverde estacional montano bajo de los Andes del Norte.</li> <li>• Bosque pluvial piemontano de los Andes del Norte.</li> <li>• Eucalipto adulto.<sup>12</sup></li> <li>• Eucalipto joven y en regeneración.</li> <li>• Pino y ciprés.</li> </ul>	<p>158 751,6 (37,43%)</p>	<p>136 022,05 (32,07%)</p>
<p><b>Arbustos húmedos y vegetación en regeneración.</b> Este ecosistema es de interés para el MDMQ porque representa los últimos relictos de vegetación nativa en quebradas, y también áreas donde la vegetación nativa está re-ocupando áreas alteradas (sucesión natural).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbustal montano de los Andes del Norte.</li> <li>• Matorral en regeneración.</li> <li>• Suro con árboles.</li> <li>• Suro con arbustos.</li> <li>• Bosque secundario.<sup>13</sup></li> </ul>	<p>84 964,6 (20,03%)</p>	<p>92 060,38 (21,7%)</p>

Tabla 10 Ecosistemas que se analizan para la determinación de la vulnerabilidad ecosistémica frente a las amenazas no climáticas y a la amenaza climática.

En la descripción de cada categoría, se explican las razones por las que dicha categoría es de interés institucional para el MDMQ.

---

<sup>12</sup> Los bosques de eucalipto y coníferas deberían clasificarse en una categoría aparte.

<sup>13</sup> Es nuestra opinión que los bosques secundarios deberían ser clasificados dentro de la categoría de “Bosques húmedos y plantaciones forestales”.

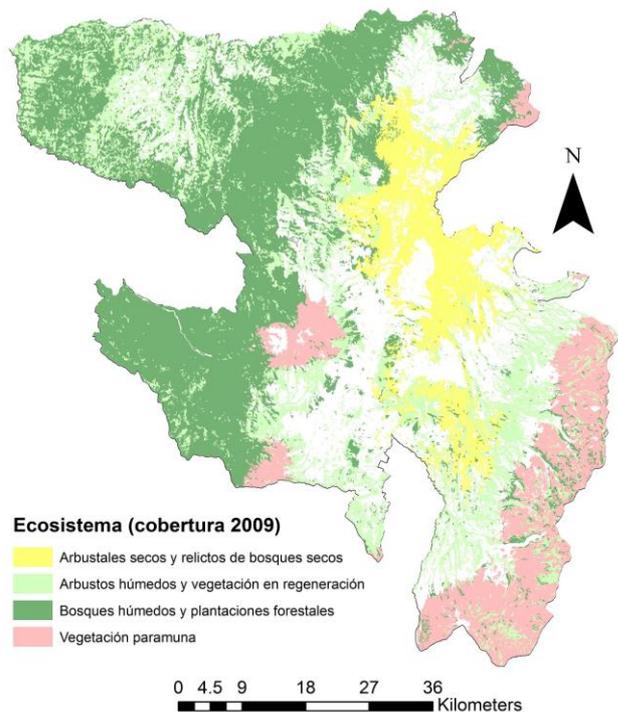


Figura 38 Las cuatro categorías de ecosistemas analizadas en este estudio, según su cobertura en el 2009. Las áreas sin color representan cultivos o mancha urbana.

#### AMENAZAS ANALIZADAS

Las amenazas son aquellas variables que determinan el grado de perturbación sobre un sistema y se manifiestan en distintas intensidades y frecuencias. En este estudio, se conceptualizan dos tipos de amenaza:

**Amenazas no climáticas o antrópicas**—Son las acciones de la población dentro o cerca de los ecosistemas, ya sea por descuido y/o vandalismo (por ejemplo incendios forestales provocados), o para satisfacer las demandas sociales y económicas requeridas en el marco de un modelo clásico de desarrollo (por ejemplo el establecimiento de zonas agrícolas, aumento de áreas urbanas, construcción de viviendas, represas, vías, etc.).

**Amenazas climáticas**—Son los comportamientos anómalos del clima, fuera de la variabilidad natural histórica (por ejemplo el incremento en la frecuencia de eventos extremos, el incremento significativo de la temperatura, etc.). Esta anomalía es causada por las acciones humanas (especialmente el intenso proceso extractivista) sobre los sistemas naturales.

Para el análisis en el estudio, se escogieron siete amenazas *no climáticas* y una *amenaza climática* (Tabla 11).

Amenazas no climáticas *	Amenaza climática
Ocurrencia de incendios Expansión de la mancha urbana Expansión de la frontera agropecuaria Construcción de vías Establecimiento de canteras Instalación de oleoductos/poliductos Tendido eléctrico (fuera de la mancha urbana)	Incremento gradual de temperatura promedio anual.

Tabla 11 Amenazas consideradas para este estudio.

\* Todas estas amenazas implican remoción de la cobertura vegetal (incluyendo deforestación).

#### VULNERABILIDAD: CONCEPTOS, COMPONENTES E INDICADORES

Evaluar el nivel de vulnerabilidad que tienen los ecosistemas respecto a su función, estructura y dinámica biótica-abiótica frente a diferentes tipos de amenazas es una manera de contribuir en la planificación para la protección<sup>14</sup> y conservación<sup>15</sup> del patrimonio natural del DMQ. En su definición clásica, la vulnerabilidad es el resultado de la interacción de tres conceptos: la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación, relacionados según la siguiente fórmula conceptual desarrollada en los lineamientos metodológicos generales de este proyecto (ver informe WP2-WP3):

$$Vulnerabilidad (V) = \frac{exposición (E) \times sensibilidad (S)}{capacidad de adaptación (C)}$$

Esta fórmula conceptual significa que la vulnerabilidad de un sistema aumenta cuando la exposición y/o la sensibilidad aumentan, y disminuye cuando la capacidad de adaptación del sistema aumenta. La relación conceptual entre los tres componentes de la vulnerabilidad puede también expresarse linealmente ( $V = [E + S] - C$ ) (CIIFEN, 2014).

---

<sup>14</sup> El término “protección”, según lo conceptualiza el MDMQ, incluye el salvaguardar áreas críticas de un ecosistema donde la actividad humana se reduce al máximo mediante políticas emergentes.

<sup>15</sup> El término “conservación”, según lo conceptualiza el MDMQ, incluye el manejar sosteniblemente los recursos naturales de uno o varios ecosistemas con la finalidad de mantener sus servicios ambientales a largo plazo.

En términos ecológicos, los conceptos de *resistencia* y *resiliencia* son complementarios al concepto de *sensibilidad* de un ecosistema frente a una amenaza. Si un ecosistema es inmune a una amenaza es considerado *resistente*, mientras que si sufre un daño frente a una amenaza, pero eventualmente puede volver a su estado original, o a otro estado estable, es considerado un ecosistema *resiliente*. Por ejemplo, los bosques boreales de Norte América no son resistentes al fuego, pero sí muy resilientes y normalmente se recuperan completamente al cabo de algunos años (Folke, 2004). Algo parecido sucede con los bosques de eucalipto en los Andes, ecosistemas que pueden ser muy resilientes o muy resistentes, dependiendo del tipo de perturbación, gravedad y prolongación del impacto.

Es importante recalcar que la resiliencia implica cierta *capacidad intrínseca de adaptación* del ecosistema, pues éste se reorganiza o adapta mientras es sometido a un cambio (factor externo) con la finalidad de recuperarse (Walker, Holling, Carpenter, & Kinzing, 2004). Por esta razón, el presente estudio no evalúa **la capacidad de adaptación de un ecosistema porque ya está incluida en la evaluación de sensibilidad**. Se trata de una diferencia fundamental con los sistemas manejados por el hombre (e.g., una ciudad), donde la capacidad de adaptación sí puede conceptualizarse independientemente de la sensibilidad, y que usualmente tiene que ver con lo que pueden hacer la población o las autoridades para mitigar los daños provocados por una amenaza.

Diferencia entre vulnerabilidad presente y futura Respondiendo a los dos objetivos específicos planteados, en este estudio se definen los conceptos de “vulnerabilidad presente” y “vulnerabilidad futura” de la siguiente manera:

**Vulnerabilidad presente**— Es un escenario que estima la vulnerabilidad de un sistema al presente a partir de información sobre las amenazas y sus potenciales daños (como en el caso de los efectos de cambios de uso de suelo o la presión urbana sobre un ecosistema).

**Vulnerabilidad futura**—Es un escenario que estima la vulnerabilidad a partir de información sobre las potenciales consecuencias que futuras amenazas (obtenidas sobre todo de modelamientos particulares de un sistema, como en el caso de proyecciones climáticas) podrían tener sobre un sistema (cuya evolución, al ser de difícil predicción, considera la información conocida del presente). Esta última concepción de vulnerabilidad es como suele ser entendida en el mundo académico, donde vulnerabilidad se define como la *posibilidad* que tiene un sistema de enfrentar un daño provocado por una amenaza que puede o no ocurrir a futuro (Hinkel 2011).

#### VULNERABILIDAD A LAS AMENAZAS NO CLIMÁTICAS O ANTRÓPICAS

**Exposición a las amenazas**—La exposición de los ecosistemas frente a las amenazas no climáticas se cuantificó en superficies del territorio directamente e indirectamente afectadas

por una amenaza. El área directamente afectada, un proxy de daño directo, se definió como el área destruida o degradada por la amenaza, mientras que el área indirectamente afectada, un proxy de daño indirecto, es el área de influencia contigua a la amenaza (Tabla 12). Espacialmente, el área directamente afectada se midió según la superficie cubierta por la amenaza, y el área indirectamente afectada, como un *buffer* cuyo ancho (en m) dependió del tipo de amenaza y de los estándares de ingeniería utilizados para definir áreas de servidumbre (Tabla 12).

Tabla 12 Exposición de los diferentes ecosistemas a las amenazas no climáticas.

Amenaza	Característica SIG	Daño directo (área destruida o degradada por la amenaza)	Daño indirecto (ancho en m del buffer a cada lado de la amenaza)
Incendios	Polígono	Varía según el tamaño	0
Mancha urbana	Polígono	Varía según el tamaño	0
Frontera agrícola	Polígono	Varía según el tamaño	0
Vías	Línea	Varía según el tamaño	100
Canteras	Polígono	Varía según el tamaño	500
Oleoductos	Línea	Varía según el tamaño	10
Tendido eléctrico	Línea	Varía según el tamaño	15–30

**Sensibilidad a las amenazas**—La sensibilidad de los ecosistemas frente a las diferentes amenazas no climáticas fue clasificada en cinco categorías (donde 5 representa la mayor sensibilidad), tomando en cuenta que un ecosistema resistente tendría una sensibilidad baja (1), un ecosistema resiliente mostraría diferentes grados de sensibilidad (2, 3 ó 4), y un ecosistema sin capacidad de resistencia ni resiliencia tendría una sensibilidad muy alta (5), condenado a desaparecer o degradarse seriamente (como en ciertos cambios de uso de suelo, e.g. de bosque seco a cantera). Nótese que el nivel de sensibilidad de un ecosistema es absolutamente dependiente del tipo de amenaza en cuestión.

En la práctica, se evaluó la sensibilidad de cada ecosistema frente a una amenaza dada desde dos diferentes perspectivas: (1) la capacidad de recuperación del ecosistema en el área directamente destruida o degradada por una amenaza, y (2) la capacidad de resiliencia y/o resistencia del ecosistema remanente contiguo a la amenaza, es decir en el área indirectamente afectada por ella. Dichas capacidades son inversas a la sensibilidad: alta capacidad significa baja sensibilidad y viceversa. En la primera forma de sensibilidad, la sensibilidad es máxima (es decir de 5) cuando la capacidad de recuperación del ecosistema en el área afectada es nula (por ejemplo cuando se construye una carretera asfaltada). En la segunda forma de sensibilidad—que puede conceptualizarse como los efectos negativos que la presencia de la amenaza va acumulando en el tiempo sobre el funcionamiento del

ecosistema nativo remanente—la sensibilidad es baja cuando existe alta resiliencia o alta resistencia del ecosistema remanente.

Para simplificar el análisis (modelamiento espacial, ver a continuación), los valores de las dos matrices de sensibilidad se promediaron y redondearon a cero decimales. Los valores de esta matriz y de las matrices de cada tipo de sensibilidad por separado se muestran en la sección de Resultados.

**Cálculo de la vulnerabilidad de los ecosistemas a amenazas antrópicas (modelamiento espacial)**— El modelamiento espacial utilizado para evaluar la vulnerabilidad presente de los ecosistemas frente a las amenazas no climáticas (antrópicas) se resume en la Figura 39. Primero, se cruzó las capas de *exposición* de **cada una** de las amenazas con el mapa de cobertura vegetal del DMQ del año 1986, el mapa disponible más antiguo de ecosistemas (en realidad, lo ideal sería realizar este cruce con un mapa que muestre la cobertura original de los diferentes ecosistemas antes de la presencia del hombre en el territorio).

A cada uno de los polígonos de intersección resultantes se les asignó un valor de *sensibilidad* (de la matriz antes explicada) según el tipo de ecosistema que la amenaza en cuestión esté cruzando. Estos polígonos se transformaron luego en puntos (centroides), cada uno de los cuales tuvo un valor de sensibilidad diferente. En base a estos puntos se aplicó una función de “kernel density” para crear una capa continua de sensibilidad de los ecosistemas a la amenaza en cuestión. Las diferentes capas de sensibilidad (que en cierto sentido son ya capas de vulnerabilidad por amenaza) se integraron luego en un solo mapa de “sensibilidad acumulada”, en el cual se ponderaron las amenazas según su importancia o gravedad (Tabla 13). Este mapa, que se muestra en detalle en la sección de Resultados, muestra espacialmente zonas con distintos niveles de sensibilidad: la sensibilidad más alta se presenta en áreas con los ecosistemas más *sensibles* y/o en áreas que están siendo afectadas por *varias amenazas a la vez*.

Tabla 13 Ponderación de las amenazas no climáticas en el modelamiento espacial.

La ponderación se conceptualizó como una medida de la gravedad de la amenaza

Amenaza	Ponderación (%)
Mancha urbana	15
Incendios 1	10
Incendios 2	5
Incendios 3	5
Agricultura	10
Vías 1	15
Vías 2	10
Vías 3	5
Canteras	15
Poliductos	5

Tendido eléctrico	5
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

Finalmente, para obtener el mapa final de vulnerabilidad, se cruzó el mapa de sensibilidad acumulada con el mapa de cobertura vegetal del DMQ del año 2009. El mapa de vulnerabilidad, que se muestra en detalle en la sección de Resultados, señala las áreas de los remanentes de ecosistemas al “presente” (2009) que tienen algún grado de vulnerabilidad.

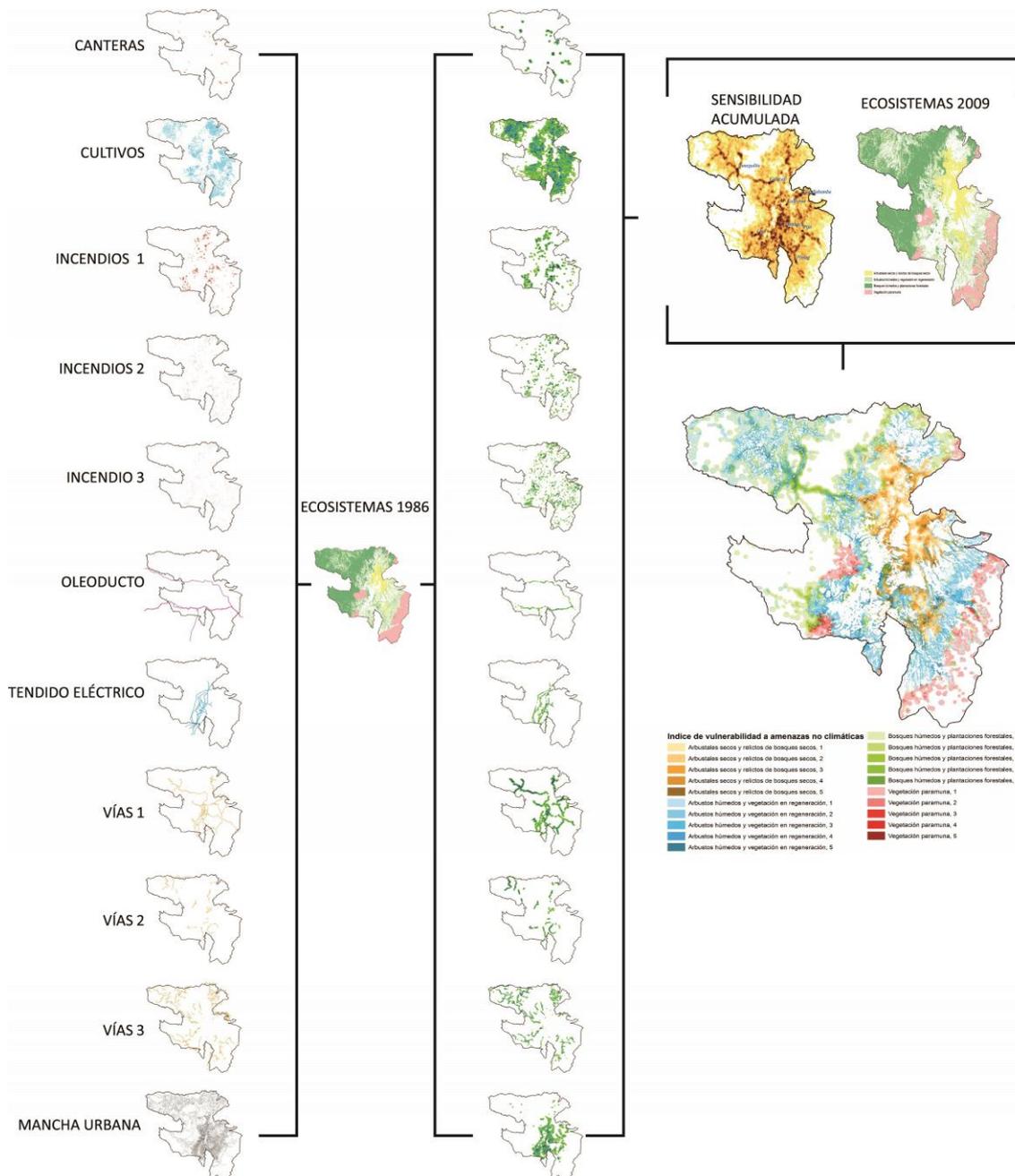


Figura 39. Conceptualización gráfica del modelamiento espacial para evaluar la vulnerabilidad de los ecosistemas frente a las amenazas no climáticas (antrópicas).

## VULNERABILIDAD A LA AMENAZA CLIMÁTICA DE INCREMENTO DE TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL

El índice de vulnerabilidad de ecosistemas al cambio climático fue conceptualizado en base al estudio de Tremblay-Boyer & Anderson (2007), pero con algunas modificaciones. Este índice—o indicador compuesto (Hinkel, 2011)— fue construido mediante la integración espacial de un indicador de exposición y cinco indicadores de sensibilidad que se calcularon para cada fragmento de ecosistema, según el Mapa de Cobertura Vegetal del MDMQ (MDMQ-Secretaría de Ambiente, 2011). Estos indicadores miden o expresan de diferente manera los componentes de la vulnerabilidad (exposición o sensibilidad) de un ecosistema. A continuación, se explica cómo se definieron y calcularon los diferentes indicadores, y cómo se calculó finalmente la vulnerabilidad.

**Indicador de exposición de la estructura del ecosistema**—Este indicador de naturaleza cualitativa se basó en cómo las características estructurales de los ecosistemas podrían modificar el área de influencia de la amenaza climática. Esta evaluación cualitativa se expresó en categorías del 1 al 5, donde el valor de 5 representa la máxima exposición (relación *positiva*). (ver Resultados)

**Indicador de sensibilidad de la funcionalidad del ecosistema**—Este indicador de naturaleza cualitativa se basó en cómo la vegetación de un ecosistema podría responder funcionalmente frente a la amenaza climática. Esta evaluación cualitativa se expresó en categorías del 1 al 5, donde el valor de 5 representa la máxima sensibilidad (relación *positiva*). (ver Resultados)

**Indicador de sensibilidad según el área del fragmento**—Este indicador representa la superficie relativa de un fragmento en relación a la distribución de tamaño de los fragmentos del mismo ecosistema. Un fragmento con un área relativamente pequeña sería más vulnerable que un fragmento con un área relativamente mayor (dentro del mismo ecosistema); es decir, la relación entre área y sensibilidad es *negativa*. Los valores de este indicador para cada ecosistema, se reclasificaron en categorías del 1 al 5, siguiendo el método *Natural Jenks* de clasificación de rangos. Luego, para convertir esta relación en *positiva*, y hacer que el indicador sea comparable a los otros indicadores (valor más alto, sensibilidad más alta), se invirtió el orden de las categorías originalmente calculadas.

**Indicador de sensibilidad según el área núcleo del fragmento**—Este indicador midió para cada fragmento la relación (una división) entre el área núcleo y el área del borde. Se asume que el área núcleo, definida como el área más central de un fragmento, mantiene condiciones estables de funcionalidad ecosistémica. La distancia que definió el ancho del borde de un fragmento varió según el tipo de ecosistema (Tabla 14). Aunque los valores absolutos de estas distancias son relativamente arbitrarios, las diferencias relativas entre ellas se basan en el conocimiento ecológico sobre la distancia a la que puede llegar el efecto de borde en el interior de los diferentes ecosistemas. Mientras menos área núcleo tenga un ecosistema en

relación a su área de borde, más sensible sería éste frente a una amenaza (si luego de aplicar el área de borde, el fragmento queda sin área núcleo, entonces el indicador es igual a cero); es decir, la relación entre área núcleo/área borde y sensibilidad es *negativa*. Los valores de este indicador se reclasificaron en categorías del 1 al 5, siguiendo el método de *Natural Jenks*. Luego, para convertir esta relación en *positiva*, y así hacer que este indicador sea comparable a los otros (valor más alto, sensibilidad más alta), se invirtió el orden de las categorías originalmente calculadas.

Tabla 14 Ancho del efecto de borde en diferentes categorías de ecosistemas.

Categoría ecosistémica	Ancho de borde (m)
Arbustos secos y relictos de bosque seco	100
Vegetación paramuna	100
Bosques húmedos y plantaciones forestales	500
Arbustos húmedos y vegetación en regeneración	50

Este ancho fue utilizado para el cálculo del indicador de sensibilidad según el área núcleo del fragmento.

**Indicador de sensibilidad según la forma del fragmento**—Este indicador midió la relación (una división) entre el perímetro de cada fragmento y el perímetro de un círculo con la misma área. Mientras más irregular sea el margen del fragmento (más vértices tenga la forma del fragmento) en relación a un margen sin vértices (el perímetro de un círculo), el ecosistema sería más vulnerable pues el efecto de borde sería mayor. Nótese que en este indicador, mientras más altos sean los valores, mayor es la sensibilidad; es decir, expresa una relación *positiva*. Los valores de este indicador se reclasificaron en categorías del 1 al 5, siguiendo el método de *Natural Jenks*.

**Indicador de sensibilidad según el aislamiento del fragmento**—Este indicador mide la distancia al fragmento más cercano del mismo ecosistema, es decir el nivel de aislamiento de cada fragmento con respecto al resto de fragmentos con características ecosistémicas similares. La lógica es que mientras mayor sea la distancia al vecino más cercano, más aislado dicho fragmento se encontrará, y mayor sería su sensibilidad, es decir que expresa una relación *positiva* entre distancia y sensibilidad. Para cada ecosistema, los valores de este indicador se reclasificaron en categorías del 1 al 5, siguiendo el método de *Natural Jenks*.

**Cálculo de la vulnerabilidad de los ecosistemas a la amenaza climática (modelamiento espacial)** — El modelamiento espacial utilizado para evaluar la vulnerabilidad futura de los ecosistemas frente a la amenaza climática de incremento de temperatura promedio anual se resume en la Figura 40.

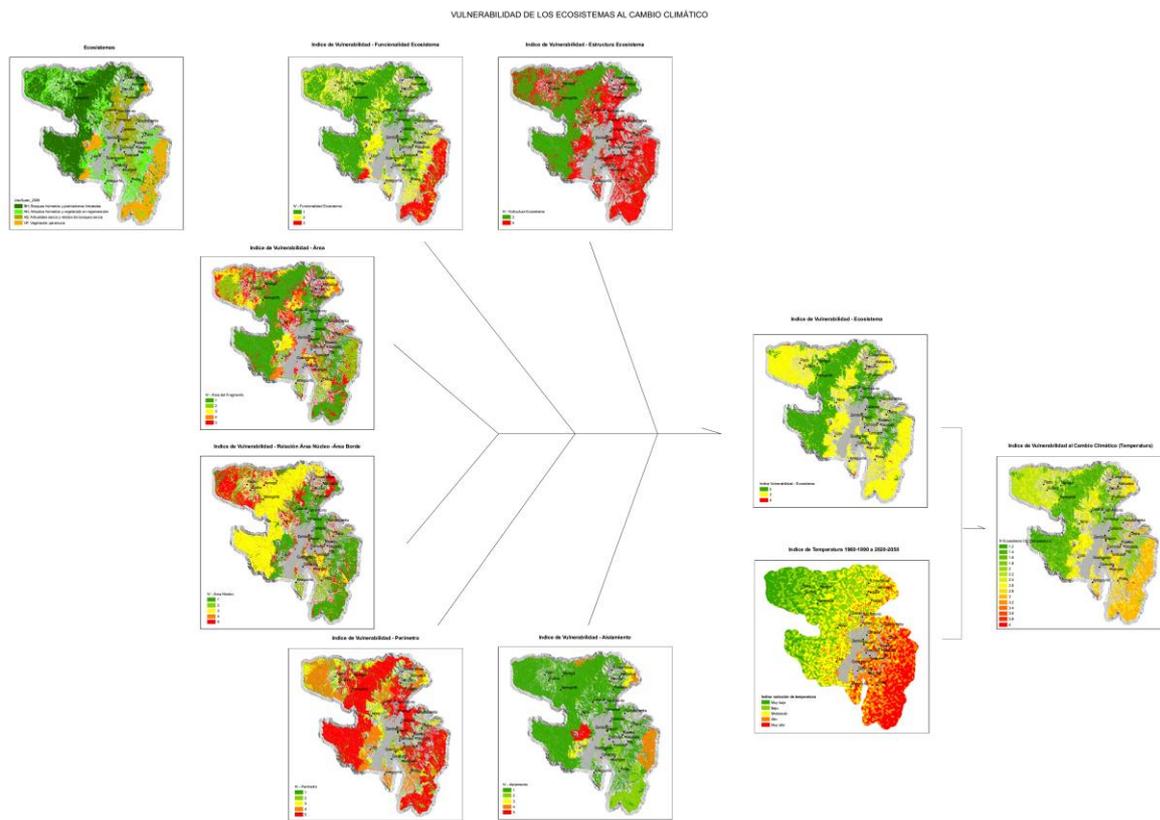


Figura 40 Conceptualización gráfica del modelamiento espacial para evaluar la vulnerabilidad de los ecosistemas frente a la amenaza climática de incremento de temperatura anual promedio.

Posteriormente esta capa se cruzó con la capa de la amenaza climática, categorizada del 1 al 5, donde 5 significa una mayor diferencia relativa de temperatura promedio anual entre el promedio proyectado al 2050 (extraído de una proyección 2020–2060) y el promedio histórico (1960–1990), expresado en píxeles de 1000×1000 m para todo el territorio del DMQ (aporte de Nicholas Depsky, SEI). Se hizo la proyección al 2050 considerando un escenario de cambio climático pesimista, con altas emisiones de carbono. Finalmente, para obtener el índice de vulnerabilidad de los ecosistemas a la amenaza climática, los valores de vulnerabilidad originales (promedio de los indicadores) se modificaron según la “fuerza” de la amenaza climática en diferentes partes del territorio (Tabla 15).

Tabla 15 Modificación del valor de vulnerabilidad calculado originalmente (promedio de los indicadores), según la fuerza de la amenaza climática.

<b>Vulnerabilidad calculada (promedio de los indicadores, redondeado a cero decimales)</b>	<b>Amenaza climática categorizada</b>	<b>Índice de vulnerabilidad final (modificación del valor de vulnerabilidad según el valor de la amenaza)</b>
1	1	0,2
	2	0,4
	3	0,6
	4	0,8
	5	1
2	1	1,2
	2	1,4
	3	1,6
	4	1,8
	5	2
3	1	2,2
	2	2,4
	3	2,6
	4	2,8
	5	3
4	1	3,2
	2	3,4
	3	3,6
	4	3,8
	5	4
5	1	4,2
	2	4,4
	3	4,6
	4	4,8
	5	5

## AMENAZAS NO CLIMÁTICAS

En las Tablas 16–18, se exponen los niveles de sensibilidad asignados cualitativamente a los diferentes ecosistemas según el tipo de amenaza. Estas tablas expresan el resultado de los procesos de reflexión explicados en la sección anterior de Metodología.

Tabla 16 Matriz de la sensibilidad entendida desde la capacidad de recuperación del ecosistema en el área directamente destruida o degradada por una amenaza, expresada en categorías 1–5.

Amenaza	Arbustales secos y relictos de bosque seco	Vegetación paramuna	Bosques húmedos y plantaciones forestales	Arbustos húmedos y vegetación en regeneración
Mancha urbana	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.
Incendios 1	4 Limitada regeneración de la cobertura vegetal (excepto por algunas especies evolutivamente adaptadas al fuego).	2 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.	2 Regeneración es posible (aunque los individuos quemados perezcan); la quema libera nutrientes (e.g., fósforo) que pueden ser fácilmente captados por plantas pioneras.	2 Regeneración de la cobertura vegetal es muy posible.
Incendios 2	4 Limitada regeneración de la cobertura vegetal.	2 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.	2 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.	2 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.
Incendios 3	3 Limitada regeneración de la cobertura vegetal.	1 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.	1 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.	1 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.
Agricultura	4 Limitada regeneración de la cobertura vegetal original.	2 Regeneración de la cobertura vegetal original es posible.	1 Regeneración de la cobertura vegetal original es posible mediante el proceso de sucesión por árboles pioneros.	1 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.
Vías 1	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.

<b>Amenaza</b>	<b>Arbustales secos y relictos de bosque seco</b>	<b>Vegetación paramuna</b>	<b>Bosques húmedos y plantaciones forestales</b>	<b>Arbustos húmedos y vegetación en regeneración</b>
Vías 2	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.
Vías 3	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.	5 No existe recuperación de la cobertura vegetal; cambio irreversible.
Canteras	5 Regeneración de la cobertura vegetal extremadamente limitada. El suelo descubierto (subsuelo), muy arenoso, no ofrece condiciones de humedad ni de nutrientes para la germinación de semillas.	4 Mínimo grado de regeneración de la cobertura vegetal.	3 Los suelos degradados limitan la regeneración de la cobertura vegetal, pero el banco de semillas relativamente diverso incrementa la probabilidad que alguna especie crezca.	3 Regeneración parcial de la cobertura vegetal.
Poliductos	4 Regeneración parcial de la cobertura vegetal, pero la recuperación puede tomar muchos años debido al lento crecimiento de las especies en este ecosistema.	2 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.	1 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.	1 Regeneración de la cobertura vegetal es posible.
Tendido eléctrico	1 Regeneración de la cobertura vegetal es muy posible, por la poca intervención sobre el suelo.	1 Regeneración de la cobertura vegetal es muy posible.	1 Buena regeneración porque el área afectada es mínima.	1 Buena regeneración porque el área afectada es mínima.

Donde 1 = ecosistema nada o poco sensible (alta capacidad de recuperación) y 5 = ecosistema extremadamente sensible (capacidad de recuperación nula). Debajo de cada valor, se adjunta una breve explicación ecológica que justifica el valor asignado. Las amenazas de incendios y vías han sido sub-categorizadas para mejorar el detalle del análisis.

Tabla 17 Matriz de la sensibilidad entendida desde la capacidad de resiliencia y/o resistencia del ecosistema remanente contiguo al área afectada por una amenaza, expresada en categorías del 1–5.

<b>Amenaza</b>	<b>Arbustales secos y relictos de bosque seco</b>	<b>Vegetación paramuna</b>	<b>Bosques húmedos y plantaciones forestales</b>	<b>Arbustos húmedos y vegetación en regeneración</b>
Mancha urbana	5 Es fácil expandir la mancha urbana en este ecosistema. Se impide los procesos de resiliencia/resistencia.	5 Es fácil expandir la mancha urbana en este ecosistema. Se impide los procesos de resiliencia/resistencia.	4 Se impide parcialmente los procesos de resiliencia/resistencia	3 Tiene mejor resiliencia/resistencia que otros ecosistemas.
Incendios 1	2 Procesos de resiliencia/resistencia son posibles.	2 Procesos de resiliencia/resistencia son posibles.	1 Procesos de resiliencia/resistencia son muy posibles.	1 Procesos de resiliencia/resistencia son muy posibles.
Incendios 2	2 Procesos de resiliencia/resistencia son posibles.	2 Procesos de resiliencia/resistencia son posibles.	1 Procesos de resiliencia/resistencia son muy posibles.	1 Procesos de resiliencia/resistencia son muy posibles.
Incendios 3	1 Procesos de resiliencia/resistencia son muy posibles.	1 Procesos de resiliencia/resistencia son muy posibles.	1 Procesos de resiliencia/resistencia son muy posibles.	1 Procesos de resiliencia/resistencia son muy posibles.
Agricultura	4 Ecosistema remanente sujeto a erosión por agua proveniente de los cultivos; además, existe intenso pastoreo.	3 Es relativamente fácil expandir la agricultura en este ecosistema; posible efecto sobre migración de fauna terrestre.	2 Procesos de resiliencia/resistencia posibles.	1 Procesos de resiliencia/resistencia muy posibles.
Vías 1	4 Efecto de borde importante.	2 Efecto de borde limitado.	5 Fuerte efecto de borde (cientos de metros); fácil penetrar y extraer madera; efectos negativos sobre biomasa, flora y fauna.	1 Efecto de borde muy limitado.
Vías 2	3 Efecto de borde importante.	1 Efecto de borde muy limitado.	4 Fuerte efecto de borde (cientos de metros); fácil penetrar y extraer madera; efectos negativos sobre biomasa, flora y fauna.	1 Efecto de borde muy limitado.
Vías 3	2 Efecto de borde limitado.	1 Efecto de borde muy limitado.	2 Efecto de borde relativamente leve.	1 Efecto de borde muy limitado.

<b>Amenaza</b>	<b>Arbustales secos y relictos de bosque seco</b>	<b>Vegetación paramuna</b>	<b>Bosques húmedos y plantaciones forestales</b>	<b>Arbustos húmedos y vegetación en regeneración</b>
Canteras	5 Fuerte efecto de borde, agravado por polvo y erosión.	2 Efecto de borde moderado; posible impacto sobre movimiento de fauna debido al tamaño de una cantera.	2 Efecto de borde moderado; posible impacto sobre movimiento de fauna debido al tamaño de una cantera.	2 Efecto de borde moderado; posible impacto sobre movimiento de fauna debido al tamaño de una cantera.
Poliductos	4 Fuerte efecto de borde. Potencial problema de contaminación.	1 Efecto de borde limitado. Potencial problema de contaminación.	2 Efecto de borde limitado. Potencial problema de contaminación.	1 Efecto de borde limitado. Potencial problema de contaminación.
Tendido eléctrico	2 Efecto de borde limitado.	1 Efecto de borde limitado.	1 Efecto de borde limitado.	1 Efecto de borde limitado.

Donde 1 = ecosistema nada o poco sensible (alta resiliencia y/o resistencia) y 5 = ecosistema extremadamente sensible (resiliencia y/o resistencia nula). Debajo de cada valor, se adjunta una breve explicación ecológica que justifica el valor asignado. Las amenazas de incendios y vías han sido sub-categorizadas para mejorar el detalle del análisis.

Tabla 18 Matriz utilizada en el modelamiento espacial que sintetiza las dos formas de sensibilidad expresados en un promedio, donde 1 = ecosistema nada o poco sensible y 5 = ecosistema extremadamente sensible.

<b>Amenaza</b>	<b>Arbustales secos y relictos de bosque seco</b>	<b>Vegetación paramuna</b>	<b>Bosques húmedos y plantaciones forestales</b>	<b>Arbustos húmedos y vegetación en regeneración</b>
Mancha urbana	5	5	5	4
Incendios 1	3	2	2	2
Incendios 2	3	3	2	2
Incendios 3	2	1	1	1
Frontera agrícola	4	3	2	1
Vías 1	5	4	5	3
Vías 2	4	3	5	3
Vías 3	4	3	4	3
Canteras	5	3	3	3
Poliductos	4	2	2	1
Tendido eléctrico	2	1	1	1

El nivel de sensibilidad compuesta en el territorio se puede observar en la Figura 41. El mapa muestra en tonos más oscuros las áreas más sensibles a amenazas no climáticas. Nótese el

impacto fuerte que tienen las vías y cómo cerca de la ciudad, especialmente hacia el este, las áreas de mayor sensibilidad se vuelven más frecuentes.

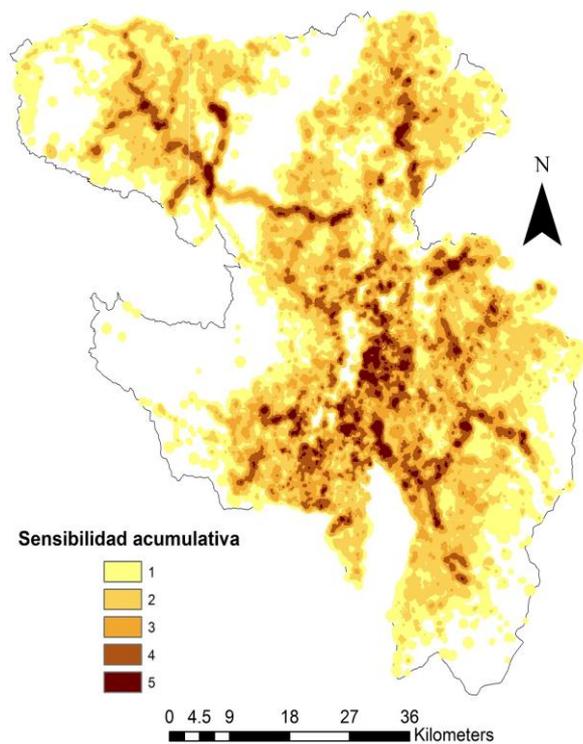


Figura 41 Mapa de sensibilidad compuesta a las amenazas no climáticas

La Figura 42 muestra el resultado final del análisis: un mapa de los diferentes niveles de vulnerabilidad a las amenazas no climáticas en las áreas de ecosistemas expuestos. En el mapa, solo se colorean las áreas que en 2009 aún tenían remanentes de ecosistemas nativos y que a su vez tienen algún grado de vulnerabilidad. Los colores más intensos reflejan una mayor vulnerabilidad a las amenazas no climáticas. Las áreas de ecosistemas nativos que al momento NO son vulnerables NO se muestran en el mapa, pero su área se detalla en la Tabla 19.

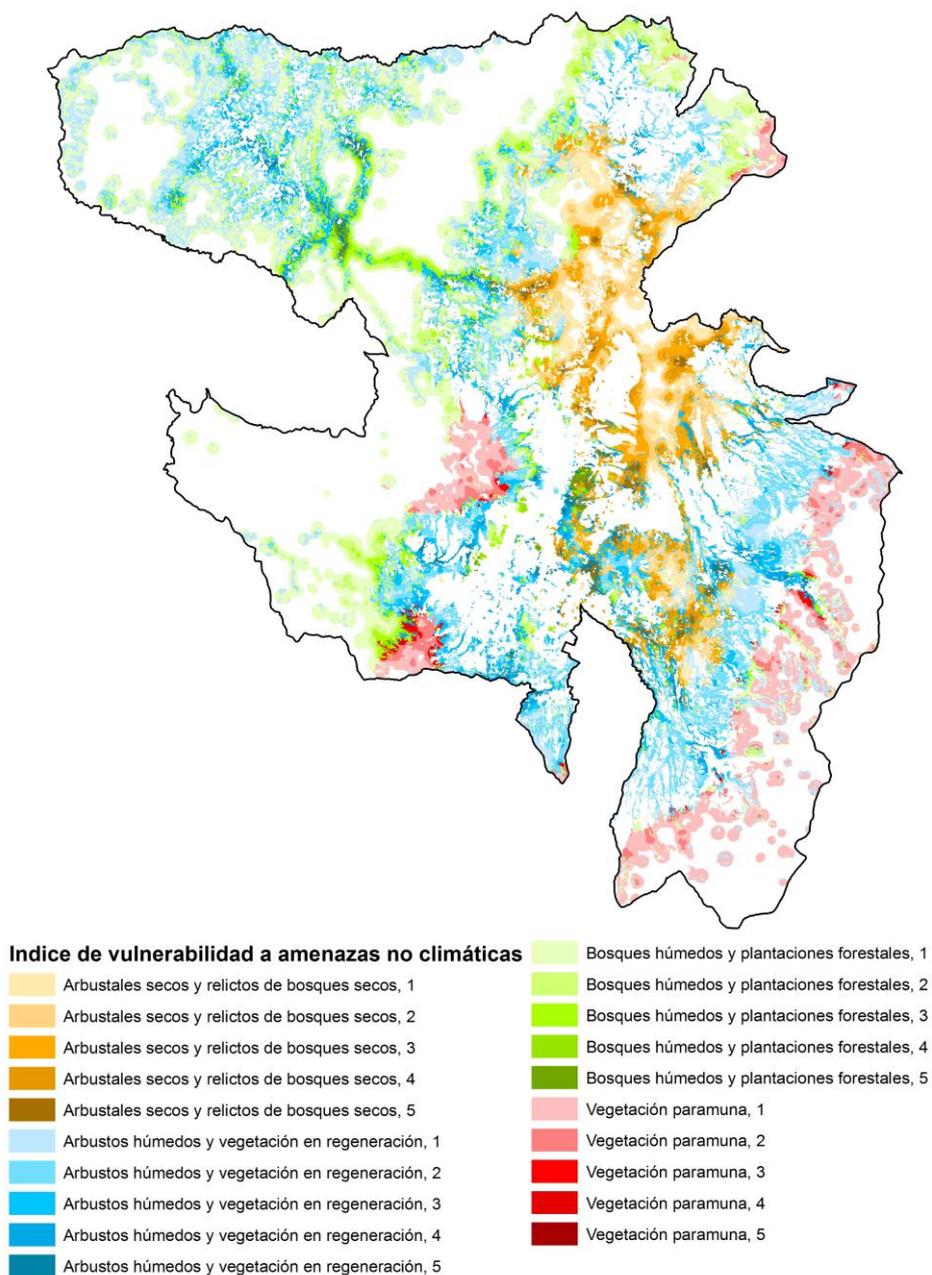


Figura 42 Mapa de vulnerabilidad a las amenazas no climáticas de los ecosistemas en estudio. No se muestran los remanentes de ecosistemas que al momento no son vulnerables.

La Tabla 19 muestra las áreas de cada categoría ecosistémica afectadas por diferentes valores de vulnerabilidad a las amenazas antrópicas. El ecosistema con mayor vulnerabilidad relativa (en %) es la vegetación xerofítica (arbustales secos y relictos de bosque seco), ya que el 17,12% de su área tiene niveles altos de vulnerabilidad (categorías 4 ó 5). Este ecosistema está evidentemente en peligro y deben tomarse medidas emergentes para proteger el 28,27% de su territorio (al 2009) que aún tiene un nivel nulo o bajo de vulnerabilidad (categorías 0 ó 1).

En contraste, la mayor parte del área de vegetación paramuna (87,76%) y de bosques húmedos/plantaciones forestales (79,95%) al momento prácticamente no son vulnerables a amenazas antrópicas (categorías 0 ó 1). Estas son buenas noticias considerando los importantes servicios que los dos ecosistemas en conjunto brindan a la ciudadanía del Distrito (generación de lluvia, almacenaje de agua en el suelo, acervo genético, captación de carbono en la vegetación o en el suelo, entre otros).

Tabla 19 Área (ha) de los diferentes ecosistemas en diferentes grados de vulnerabilidad frente a las amenazas no climáticas (antrópicas). Las áreas se calculan en base a lo reportado en la Tabla 10. \* Es el área del ecosistema remanente no expuesto, al momento, a amenaza antrópica alguna.

Categoría de ecosistemas	Índice de vulnerabilidad a la amenazas no climáticas (antrópicas)						Total
	0 *	1	2	3	4	5	
Arbustales secos y relictos de bosques secos	3 520,26 (8,38 %)	8 358,11 (19,89 %)	12 180,94 (28,99 %)	10 763,35 (25,62 %)	5 602,32 (13,33 %)	1 593,79 (3,79 %)	42 018,77 (100 %)
Vegetación paramuna	21 151,78 (45,73 %)	19 440,28 (42,03 %)	4 537,17 (9,81 %)	859,01 (1,86 %)	244,8 (0,53 %)	15,85 (0,03 %)	46 248,89 (100 %)
Bosques húmedos y plantaciones forestales	73 595,31 (54,11 %)	35 141,34 (25,84 %)	18 059 (13,28 %)	6 211,89 (4,57 %)	2 185,11 (1,61 %)	829,4 (0,61 %)	136 022,05 (100 %)
Arbustos húmedos y vegetación en regeneración	11 316,76 (12,29 %)	23 226,1 (25,23 %)	3 2951,11 (35,79 %)	15 316,93 (16,64 %)	7 453,75 (8,1 %)	1 795,73 (1,95 %)	92 060,38 (100 %)

## AMENAZAS CLIMÁTICAS

El análisis cualitativo de exposición y sensibilidad funcional de los ecosistemas frente a la amenaza climática puede observarse en las Tablas 20 y 21.

Tabla 20 Calificación cualitativa de la exposición de los ecosistemas analizados frente a la amenaza climática de incremento gradual de la temperatura promedio.

Según la escala categórica 1 (ninguna exposición), 2 (alguna exposición, pero no significativa), 3 (alguna exposición), 4 (exposición significativa) y 5 (exposición completa).

Unidad de análisis (categorías de ecosistemas)	Exposición a la amenaza (incremento gradual de la temperatura promedio)	Argumento ecológico
Arbustales secos y relictos de bosque seco	4	Esta categoría ecosistémica podría tener una exposición significativa porque la densidad poblacional de sus estratos de vegetación (herbáceo, arbustivo y arborescente) en ciertas áreas es relativamente baja y crea espacios abiertos. Por tanto, la amenaza climática puede afectar de manera relativamente homogénea a toda el área.
Vegetación paramuna	4	Este categoría ecosistémica podría tener una exposición significativa porque sus estratos de vegetación (herbáceo y arbustivo) son de muy poca altura, y por tanto el ecosistema estaría expuesto casi totalmente a la amenaza climática.
Bosques húmedos y plantaciones forestales	3	Esta categoría incluye bosques húmedos de las estribaciones y bosques de eucalipto y coníferas. Los bosques húmedos podrían tener un grado relativamente bajo de exposición en comparación con otros ecosistemas porque sus estratos de vegetación (herbáceo, arbustivo [sotobosque], arborescente/arbóreo[sotobosque al dosel]) están representados por individuos densamente distribuidos. La presencia de vegetación densa y árboles de diferentes alturas podría crear microclimas internos dentro del bosque que sean relativamente independientes de las condiciones climáticas externas. Los árboles de dosel, sin embargo, sí estarían directamente expuestos al clima. Por otro lado, los bosques de eucalipto y coníferas podrían tener una exposición significativa porque los estratos de vegetación más comunes (herbáceo, arbustivo y arborescente/arbóreo) tienden a tener individuos con una distribución espacial relativamente uniforme y árboles de crecimiento recto. Por tanto, la amenaza sí podría afectar de manera más o menos homogénea a todo el ecosistema.
Arbustos húmedos y vegetación en regeneración	4	Este categoría ecosistémica podría tener una exposición significativa porque sus estratos de vegetación (herbáceo y arbustivo) son de muy poca altura, y por tanto el ecosistema estaría expuesto casi totalmente a la amenaza climática.

Tabla 21 Calificación cualitativa de la sensibilidad funcional de los ecosistemas analizados frente a la amenaza climática de incremento gradual de la temperatura promedio.

Según la escala categórica: 1 (ningún impacto sobre el ecosistema), 2 (impacto mínimo, con poco o ningún efecto sobre el ecosistema), 3 (ecosistema puede ser negativamente afectado), 4 (ecosistema será negativamente afectado), 5 (ecosistema será completamente dañado).

Unidad de análisis (categorías de ecosistemas)	Sensibilidad a la amenaza climática (incremento gradual de la temperatura promedio)	Argumento ecológico
Arbustales secos y relictos de bosque seco	1	Esta categoría ecosistémica no se vería negativamente afectada debido a que históricamente las especies nativas se han adaptado a condiciones muy extremas de calor y sequías. Es incluso posible que su producción primaria aumente.
Vegetación paramuna	3	Esta categoría ecosistémica podría ser afectada negativamente si persiste la amenaza, debido a que un páramo más caliente favorecería la colonización de especies adaptadas a condiciones ambientales menos frías, sean éstas arbóreas (del bosque andino), arbustivas o herbáceas. Este lento proceso reduciría, a muy largo plazo, la extensión del páramo como tal, en especial en montañas no muy altas. Frente a una pérdida gradual del páramo, su servicio ecosistémico de generación y almacenamiento de agua se vería disminuido, afectando negativamente a la población humana.
Bosques húmedos y plantaciones forestales	1	Esta categoría ecosistémica podría tener una sensibilidad baja porque, asumiendo que la precipitación se mantendría, el incremento gradual de temperatura podría aumentar las tasas fotosintéticas de muchas especies, incrementando la producción primaria. Además, la existencia de microclimas dentro de los densos bosques húmedos dilataría el efecto de la amenaza climática. La sensibilidad es también baja porque la plasticidad fisiológica de las especies presentes en las plantaciones forestales ( <i>Eucalyptus globulus</i> y <i>Eucalyptus saligna</i> ) es relativamente alta.
Arbustos húmedos y vegetación en regeneración	2	Esta categoría ecosistémica podría no afectarse mucho pues la complejidad estructural y la buena capacidad de sucesión o regeneración de los arbustos húmedos amortiguaría el efecto negativo de la amenaza climática.

La Tabla 22 muestra las áreas de cada categoría ecosistémica afectadas por diferentes valores de vulnerabilidad a la amenaza climática. La mayor parte del DMQ cubierta por arbustales secos y relictos de bosque seco (69,62%) y bosques húmedos/plantaciones forestales (67,62%) tiene una vulnerabilidad relativamente baja (valores de 1–2). En contraste, aproximadamente la mitad de la vegetación paramuna del DMQ tiene relativamente alta vulnerabilidad (valores de 3–4), mientras que la otra mitad tiene una vulnerabilidad media (valores de 2–3). La baja vulnerabilidad del ecosistema xerofítico (arbustos y bosques secos) es resultado de las adaptaciones ecofisiológicas de las especies características de este ecosistema para soportar

condiciones de alta temperatura y sequía (ver Tablas 20 y 21). En el caso de los bosques húmedos, la baja vulnerabilidad se debe principalmente al gran tamaño del remanente de bosque aún presente en las estribaciones occidentales, y a la característica del ecosistema de mantener microclimas en diferentes estratos del bosque, donde la influencia de la topografía es crucial y coadyuva a amortiguar los efectos de la amenaza climática (ver Tablas 20 y 21). Finalmente, los altos índices de vulnerabilidad del páramo reflejan los valores relativamente altos de exposición y sensibilidad funcional de este ecosistema (Tablas 20 y 21).

Tabla 22 Área (ha) de los diferentes ecosistemas en diferentes grados de vulnerabilidad frente a la amenaza climática de incremento de temperatura promedio. Las áreas se calculan en base a lo reportado en la Tabla 1.

Categoría de ecosistemas	Índice de vulnerabilidad a la amenaza climática (categorizado)			Total
	1-2	2-3	3-4	
Arbustales secos y relictos de bosques secos	29 253,81 (69,62 %)	10 350,82 (24,63 %)	2 414,14 (5,75 %)	42 018,77 (100 %)
Vegetación paramuna	0 (0 %)	21 864,84 (47,28 %)	24 384,05 (52,72 %)	46 248,89 (100 %)
Bosques húmedos y plantaciones forestales	91 977,78 (67,62 %)	40 611,08 (29,86 %)	3 433,2 (2,52 %)	136 022,05 (100 %)
Arbustos húmedos y vegetación en regeneración	10 719,12 (11,64 %)	72 754,83 (79,03 %)	8 586,44 (9,33 %)	92 060,38 (100 %)

En la Figura 43 se representa la vulnerabilidad de los ecosistemas del DMQ frente a la amenaza climática de incremento de temperatura, según la metodología ya explicada. Los valores expresados en la última columna de la Tabla 15 representan valores de vulnerabilidad corregidos según la fuerza del incremento de temperatura que se espera en diferentes áreas del Distrito. Ningún área del DMQ muestra una vulnerabilidad muy alta (valores de 4-5); sólo en el páramo son frecuentes los valores relativamente altos de vulnerabilidad (3-4). Es también interesante notar que tanto los bosques húmedos del noroccidente como el ecosistema xerofítico (vegetación seca) presentan una vulnerabilidad relativamente baja.

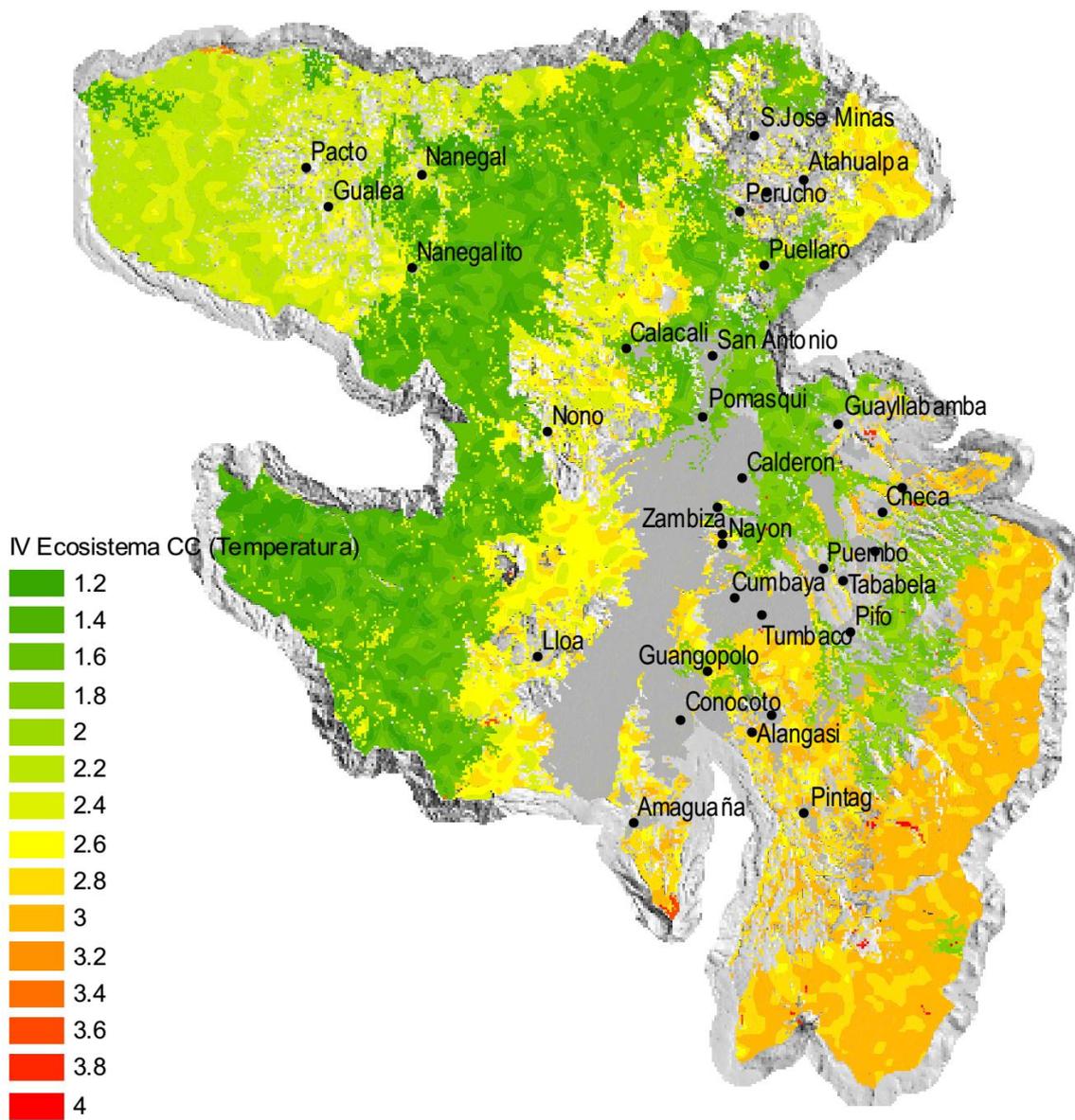


Figura 43 Vulnerabilidad de los ecosistemas del DMQ frente a la amenaza climática de incremento de temperatura promedio.

### 19.4.5 CONCLUSIONES SECTOR ECOSISTEMAS

Los resultados del estudio permiten formular las siguientes conclusiones y recomendaciones asociadas:

La evaluación de la vulnerabilidad frente a amenazas antrópicas—es decir aquellas no relacionadas al cambio climático, pero que pueden agravar sus potenciales efectos a largo plazo— mostró que el ecosistema xerofítico es el más vulnerable y que los ecosistemas menos vulnerables son los páramos y el bosque húmedo tropical.

La evaluación de la vulnerabilidad frente a la amenaza climática de incremento de temperatura promedio anual—entendida como un proxy aceptable del fenómeno de “cambio climático” bajo un escenario pesimista de emisiones de carbono hacia el 2050— evidencia que el páramo es el ecosistema más vulnerable, en tanto que los ecosistemas menos vulnerables son el xerofítico y el bosque húmedo tropical.

Los ecosistemas xerofítico y de páramo muestran patrones antagónicos en sus niveles de vulnerabilidad dependiendo del tipo de amenaza analizada. El ecosistema xerofítico es el más vulnerable frente a las amenazas antrópicas, pero lo es poco frente a la amenaza climática; mientras que el ecosistema de páramo es el más vulnerable frente a la amenaza climática, pero poco vulnerable frente a las amenazas antrópicas. Es por tanto recomendable implementar acciones emergentes de protección para los escasos remanentes de ecosistema xerofítico que aún existen, y también acciones de conservación a largo plazo para las grandes extensiones de páramo todavía presentes en estado nativo.

Para planificar acciones institucionales (del MDMQ) sobre los ecosistemas con el fin de salvaguardar su integridad a largo plazo, primero es útil recordar que la vulnerabilidad y la amenaza se unen en el concepto de riesgo, y que el accionar sobre la vulnerabilidad o sobre la amenaza supone actuar sobre el riesgo. En otras palabras, para disminuir el riesgo se debe actuar sobre la vulnerabilidad y/o la amenaza. Sin embargo, para el caso de los ecosistemas, la vulnerabilidad (especialmente los elementos de sensibilidad y capacidad de adaptación) es una propiedad intrínseca del sistema natural que se ha perfeccionado durante miles de años de evolución, la cual no puede ser modificada fácilmente ni significativamente por el hombre. Además de actuar sobre las amenazas, el ser humano puede bajar el nivel de riesgo sólo si estas son de origen antrópico (por ejemplo la construcción de una carretera), pues no tiene control sobre amenazas de origen natural (por ejemplo una erupción volcánica). En base a

esta conceptualización teórica, en el Anexo 3 se resumen las acciones que el MDMQ está realizando o podría realizar sobre los ecosistemas.<sup>16</sup>

Por último, el estudio ha demostrado que es posible utilizar la detallada información espacial existente para el DMQ, junto con información ecológica genérica y también los conceptos ecológicos de resistencia y resiliencia asociados, para realizar una primera evaluación de los elementos de exposición y sensibilidad—y por ende vulnerabilidad— de los ecosistemas tanto frente a amenazas no climáticas (antrópicas) como climáticas. Sin embargo, la información ecológica aún debe ser depurada y profundizada en base a estudios específicos sobre la biología/ecología de las especies (que en el DMQ son miles) y su respuesta frente a diferentes amenazas antrópicas y climáticas.

Aunque la mayoría de los estudios sobre biodiversidad del DMQ (ejemplo MECN, 2009) proveen información sobre la diversidad y distribución de una parte de la enorme biodiversidad del DMQ, no brindan información científica sobre cómo dichos patrones de diversidad y distribución están cambiando *en el tiempo y en el espacio* como respuesta a las amenazas, ni cómo el nicho o función de las especies en su hábitat se ha modificado, si acaso, frente al ambiente alterado. La escasez y/o corta duración de los estudios existentes sobre este tema (por ejemplo las iniciativas de investigación de CONDESAN, o la tesis de maestría de A. Cabrera, uno de los autores de este reporte), aún limitan la evaluación de la vulnerabilidad de los ecosistemas del DMQ de una manera más profunda.

En el Anexo 2 se presenta una lista muy preliminar de las potenciales variables que podrían medirse en estudios científicos sobre este tema. Dicha información—que debe recopilarse empíricamente (programas de monitoreo) y luego insertarla en modelos ecosistémicos matemáticos— es necesaria para realmente comprender cómo los componentes bióticos y abióticos de un ecosistema reaccionan frente a la variedad de amenazas antrópicas y climáticas. Es importante recalcar que la inversión necesaria para llevar a cabo un programa de investigación de esta magnitud sobrepasa los varios millones de dólares, y se requiere un equipo de investigadores multidisciplinario.

---

<sup>16</sup> Estas propuestas de acción pueden conceptualizarse como la “capacidad de respuesta” del MDMQ, o como “medidas de adaptación institucional”.

### 20. 5.1 LA FORMULACIÓN EN LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL SECTOR SALUD

A nivel internacional se han logrado establecer relaciones entre los efectos globales del cambio climático y las repercusiones de este fenómeno sobre la salud humana. El Cambio Climático tiene una influencia (directa o indirecta) sobre la salud de las personas y la aparición de enfermedades. Entre las enfermedades sobre las cuales este fenómeno global puede tener una mayor influencia se contemplan las siguientes: enfermedades producidas por vectores, efectos de episodios de temperaturas extremas (olas de calor, inundaciones, temporadas de sequía, etc.), enfermedades virales, enfermedades asociadas a la calidad del aire, entre otras (Haines et al., 2006).

Del conjunto de enfermedades sobre las cuales el Cambio Climático puede influir de manera concreta, las enfermedades virales y transmitidas por vectores son las que adquieren una mayor importancia. Se ha encontrado diversos niveles de influencia que el cambio en las temperaturas y el aumento de episodios extremos podría tener a nivel mundial sobre enfermedades como dengue, malaria, gripe, fiebre amarilla. (Schvoerer et al., 2008). El nivel de repercusión depende mucho de las realidades locales, las condiciones de vida de la población, el clima propio de las zonas de estudio y otras variables propias de las poblaciones expuestas.

Bajo estas consideraciones, el presente estudio se enfoca en la evaluación de vulnerabilidad de la población del DMQ a la variación climática, considerando diferentes enfermedades asociadas directa o indirectamente al clima: enfermedades respiratorias, enfermedades alérgicas, enfermedades transmitidas por vectores, enfermedades de la piel y enfermedades transmitidas por el consumo de alimentos.

### 21. 5.2 ETAPA 1: PROCESO DE CONSTRUCCIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO

La salud y la enfermedad son el resultado de una serie de interacciones dinámicas entre distintos elementos clave, como pueden ser factores socioeconómicos, componentes biológicos, variables ambientales o elementos culturales. De acuerdo a distintos estudios a nivel internacional, se ha establecido una correlación entre inequidades socioeconómicas y problemas de salud (Rowlingson, 2011); incluso en algunos casos se considera a las condiciones sociales negativas como causa fundamental de la prevalencia de cierto tipo de enfermedades (Link y Phelan, 1995).

Así mismo, la OMS ha planteado la necesidad de los gobiernos de intervenir sobre las inequidades sociales para enfrentar y reducir las enfermedades, especialmente en el caso de

países en vía de desarrollo. Países como Chile han establecido agendas gubernamentales para alcanzar estos objetivos (Vega, 2011). Ecuador también ha focalizado durante los últimos años sus esfuerzos hacia la reducción de las brechas sociales, como mecanismo base para el mejoramiento de la salud pública del país. Esto resalta la importancia que se les otorga a las condiciones sociales como variable fundamental en torno a la salud y a la enfermedad.

Tomando en cuenta estas consideraciones, para el análisis de vulnerabilidad al cambio climático en el sector salud no se pueden únicamente considerar variables climáticas y epidemiológicas, sino también variables sociales. Es así que para el presente estudio se han utilizado para los diferentes cálculos estadísticas climáticas, estadísticas sobre presencia de distintas enfermedades en el DMQ y estadísticas socioeconómicas.

Bajo este enfoque, previo a la determinación de las variables específicas a ser utilizadas para el estudio de vulnerabilidad en el sector salud, se realizó un mapeo de los actores institucionales más importantes en dicho sector, tanto a nivel nacional como en el DMQ. Los principales actores institucionales identificados son los siguientes:

- Ministerio de Salud Pública, en su calidad de ente rector de la salud del país
- SENPLADES, en su calidad de ente rector de la planificación territorial del país
- Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) incluido Seguro Social Campesino, ISSFA e ISSPOL, los cuales prestan servicios de salud a la población afiliada: trabajadores, fuerza pública y policía respectivamente
- Secretaría de Salud, la cual es responsable de la red de atención del DMQ
- Otros actores en salud: Secretaría de Ambiente con la iniciativa Quito Verde, la cual promueve la conservación y protección ambiental; Programa “Sesenta y Piquito: Activos y Saludables”, a través del que se promueve la realización humana y la salud integral de las Personas Adultas Mayores del territorio del Distrito Metropolitano; Secretaria de Movilidad, la cual busca evitar los impactos negativos de la motorización con programas como pico y placa o BICI Q; CONQUITO, institución que promueve la agricultura urbana

Una vez identificados los actores institucionales relevantes dentro del sistema de salud del DMQ, se procedió a realizar un trabajo conjunto con dichas instituciones, principalmente con el Ministerio de Salud, para analizar los tipos de enfermedades que mayor relevancia tienen, desde el enfoque de los impactos negativos del Cambio Climático. Como resultado de este análisis se definió que las enfermedades prioritarias para el análisis de vulnerabilidad del sector salud son las siguientes: enfermedades relacionadas con la transmisión de vectores (dengue y paludismo), enfermedades de la piel por exposición al sol (como melanomas), enfermedades respiratorias (neumonía, bronquitis), enfermedades alérgicas (asma y rinitis) y enfermedades transmitidas por alimentos.

La exposición a este tipo de enfermedades podría verse incrementada por fenómenos relacionados al cambio climático como: olas de calor, inundaciones, sequías, así como por un incremento general de la temperatura y una mayor exposición a la radiación solar. Por esta razón resulta primordial el análisis de las mismas en el marco del estudio de vulnerabilidad, con el objetivo de establecer medidas de adaptación adecuadas para el sector salud.

Como se observa, las enfermedades a ser analizadas fueron determinadas en forma participativa, por lo cual los resultados del presente estudio podrán ser de utilidad para los actores institucionales descritos. De la misma manera se iniciará un proceso de generación de capacidades acerca de la metodología utilizada en el estudio de vulnerabilidad del sector salud, el cual se basa un enfoque que combina factores de sensibilidad, exposición y amenaza climática.

Una vez definidas las enfermedades de interés, se procedió a delimitar las variables para el cálculo, bajo el procedimiento que se detalla a continuación

#### VARIABLES UTILIZADAS

Como se explicó en la sección anterior, para el análisis de vulnerabilidad se ha considerado necesario realizar un análisis integral, que permita relacionar factores climáticos y socioeconómicos frente a estadísticas sobre enfermedades. Estas distintas variables se interrelacionan dentro de la metodología de cálculo de los estudios de vulnerabilidad, siguiendo los criterios de sensibilidad, exposición y amenaza. Se ha considerado que las variables socioeconómicas corresponden a las variables de sensibilidad, ya que una población con condiciones de vida altas está en mejor capacidad de combatir las enfermedades; es, por lo tanto, menos sensible a sus efectos. Las estadísticas sobre egresos hospitalarios corresponden a la exposición, ya que demuestran qué tan expuesta está una población a cierto tipo de enfermedades. Finalmente, las variables climáticas representan la amenaza climática, la cual puede incrementarse en un futuro, en el contexto del fenómeno del cambio climático.

Las variables utilizadas provienen de datos oficiales para el DMQ. Las estadísticas sobre condiciones socioeconómicas provienen del Censo de Población y Vivienda del año 2010 (INEC, 2010b), el cual presenta estadísticas para todas las parroquias del DMQ, mientras que las estadísticas sobre enfermedades provienen de los anuarios sobre egresos hospitalarios (INEC, 2010a), para el periodo 2001-2010. En este caso se han obtenido únicamente estadísticas para 10 parroquias del DMQ; finalmente, las variables climáticas provienen de las bases de datos del INAMHI, para el periodo 2001-2010, así como de un estudio de la Secretaría de Ambiente sobre tipos de clima en el DMQ, el cual se base en niveles de temperatura y precipitación. A continuación se detallan las variables utilizadas y la justificación para su selección.

## VARIABLES DE SENSIBILIDAD (VARIABLE SOCIOECONÓMICAS)

### Población mayor de 65 años

Se ha seleccionado como variable de análisis el porcentaje de población mayor de 65 años, debido a que los adultos mayores tienen un alto grado de susceptibilidad a enfermedades respiratorias o cardiovasculares. Por esta razón, este grupo poblacional estará mayormente afectado de incrementarse la presencia de enfermedades por efectos del cambio climático.

Otros grupos poblacionales con alta susceptibilidad, para los cuales se podría realizar un análisis similar, son los niños y niñas y las mujeres embarazadas. Sin embargo, se decidió seleccionar únicamente a los adultos mayores, debido a que paulatinamente la pirámide poblacional del DMQ está cambiando, acercándose a lo que es considerado como población envejecida.

### Escolaridad de mujeres mayores de 24 años

Se seleccionó como una de las variables el nivel de escolaridad de mujeres de 24 años y más. Se ha analizado este grupo, pues se considera que, de acuerdo a las estructuras socio-culturales existentes en el Ecuador, es la mujer la que principalmente cuida a los hijos o hijas, a los padres, es responsable de la alimentación y la vivienda, realiza actividades en la comunidad. De esta manera su rol en la transferencia de hábitos de salud es fundamental dentro de su propia familia.

Se ha tomado un valor de 24 años o más pues hasta dicha edad se alcanza mayoritariamente niveles de educación superior. Se considera que entre mayor nivel de escolaridad alcanzan las mujeres, mejores serán las condiciones de salud de esta persona, así como de su círculo familiar más próximo.

### Acceso a agua

Un importante riesgo a la salud está asociado directamente con problemas que afectan a la población como la falta de acceso a servicios básicos como agua potable, alcantarillado, disposición de basura, calidad de la vivienda, etc., lo cual se asocia con un incremento de enfermedades transmitidas por vectores como el dengue y la malaria, así como también aquéllas que son transmitidas por el agua y los alimentos. Además del acceso a servicios de salud y medicamentos, el acceso a servicios básicos juega un papel clave para enfrentar el riesgo de la enfermedad.

El agua para consumo humano, higiene personal, de la vivienda proviene de diversas fuentes; para el presente análisis se consideró la dotación por red pública, debido a que ésta presenta una alta calidad. Si bien es cierto las fuentes o vertientes naturales pueden ser fuentes de agua segura, no existen estudios que permitan conocer su calidad.

#### **VARIABLES DE EXPOSICIÓN (EGRESOS HOSPITALARIOS POR ENFERMEDADES SENSIBLES AL CLIMA)**

##### **Enfermedades transmitidas por vectores**

Se utiliza esta variable porque, a pesar de que este tipo de enfermedades son más comunes en regiones tropicales, ciertas partes del DMQ presentan ambientes propicios para la propagación de estas enfermedades, volviéndolo vulnerable. Además, el DMQ presenta una alta tasa de inmigrantes de otras regiones del país, los cuales podrían traer consigo estas enfermedades. La migración por trabajo temporal y la inmigración de otras regiones del país, especialmente de aquellas regiones endémicas, incrementan los casos de este tipo de enfermedades.

Las enfermedades transmitidas por vectores son afecciones bacterianas, virales o parásitas transmitidas a los humanos y animales por la mordedura o picadura de vectores infectados, que pueden ser insectos, como los mosquitos o garrapatas. Se estima que el cambio climático modificará la transmisión de enfermedades infecciosas por vectores como mosquitos y garrapatas, al alterarse su distribución geográfica, sus temporadas de actividad y el tamaño de su población. También tendrán una influencia sobre la presencia de vectores la evolución del uso del suelo y los factores socioeconómicos (comportamiento de la población, desplazamiento de personas y mercancías). La figura 44 presenta el número de casos de paludismo en el DMQ, para el periodo 2001-2010

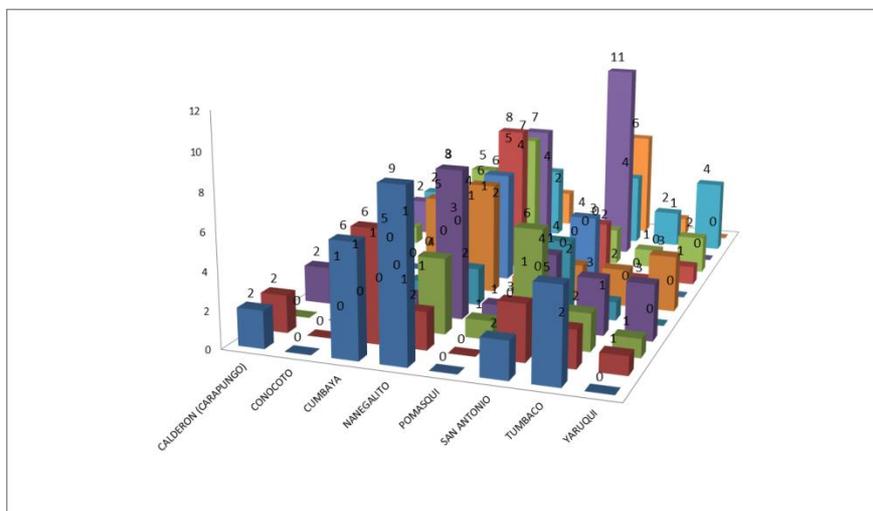


Figura 44 Número de casos de paludismo en el DMQ, 2001-2010

#### Enfermedades respiratorias y alérgicas

Son consideradas por su relación con variables climáticas y también por el efecto indirecto del cambio climático sobre la calidad del aire, tanto en interiores o al aire libre, así como por los efectos indirectos sobre la gravedad y el momento de presencia de alérgenos aéreos, como el polen o el moho. El área urbana del DMQ es principalmente vulnerable a este tipo de enfermedades por la presencia de contaminantes atmosféricos y los grandes variaciones climáticas que se producen en su territorio. Las figuras 45 y 46 resumen el número de casos de egresos hospitalarios por bronquitis (respiratoria) y asma (alérgica) producidas entre el 2001-2010 en esta ciudad.

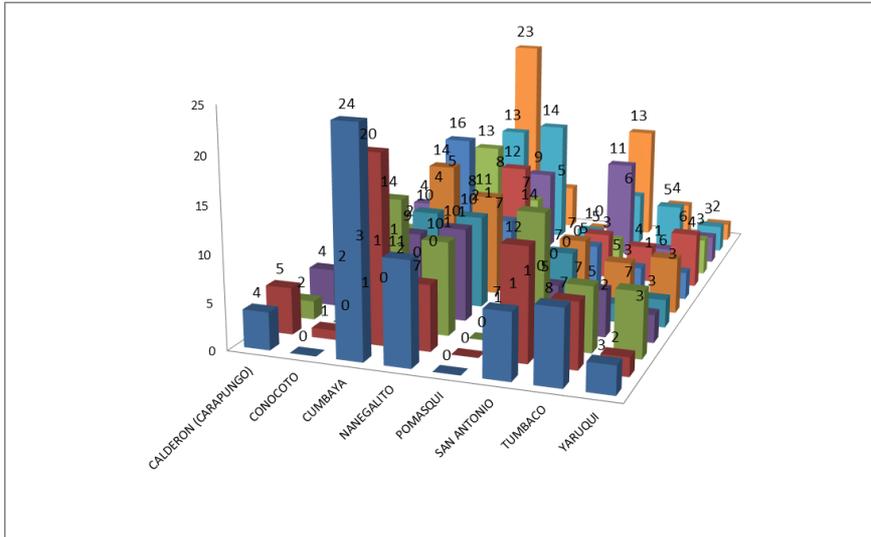


Figura 45 Número de casos de bronquitis en el DMQ, 2001-2010

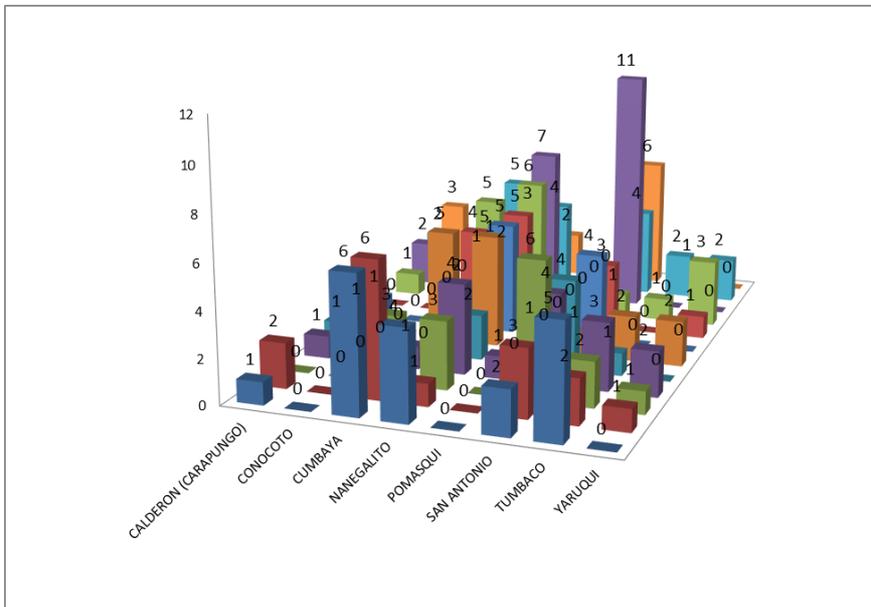


Figura 46 Número de casos de asma en el DMQ, 2001-2010

### Enfermedades transmitidas por los alimentos

Las enfermedades transmitidas por los alimentos son infecciones contraídas al consumir alimentos o bebidas contaminadas. Los alimentos pueden resultar contaminados por numerosos microbios y sustancias tóxicas. Estas enfermedades están asociadas de una manera indirecta al cambio climático, ya que, especialmente cuando ocurren eventos extremos como inundaciones o sequías, este tipo de enfermedades son las primeras en diseminarse en las poblaciones. Las enfermedades transmitidas por alimentos tienen una alta importancia en este análisis, debido a que la mayor parte del DMQ depende del

abastecimiento de alimentos de otros lugares. En el DMQ las enfermedades más comunes de este tipo son las diarreas, por lo cual en la figura 47 se presentan los casos registrados durante el periodo de análisis.

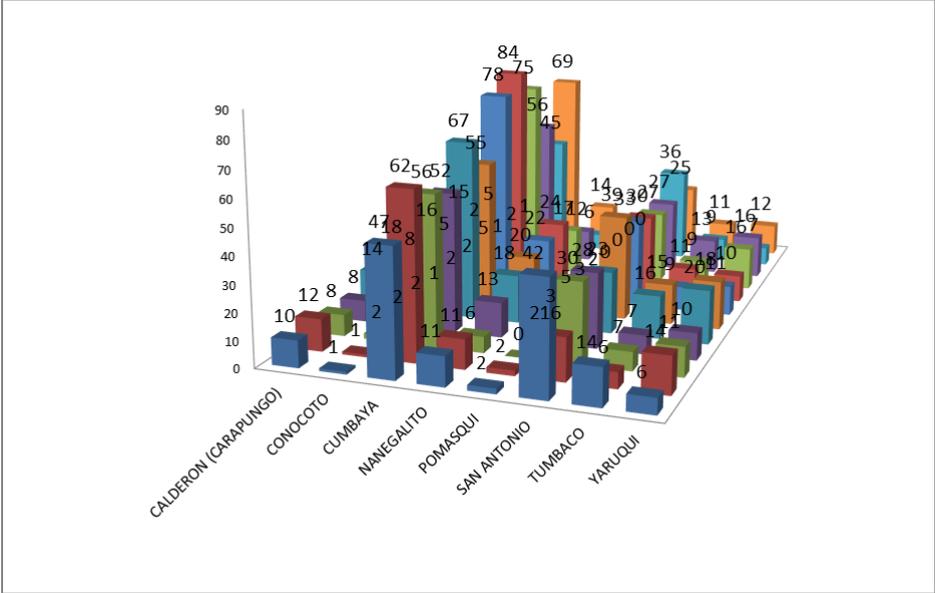


Figura 47 Número de casos de enfermedades diarreas en el DMQ, 2001-2010

**VARIABLES DE AMENAZA CLIMÁTICA**

Para el análisis de vulnerabilidad del sector salud se han utilizado las siguientes variables meteorológicas: temperatura máxima, temperatura promedio, temperatura mínima, precipitación anual y humedad relativa. Además se ha desarrollado un mapa sobre tipos climáticos en el DMQ, el cual servirá como base para el cálculo de indicadores. Dicho mapa climático se presenta a continuación (Figura 48).

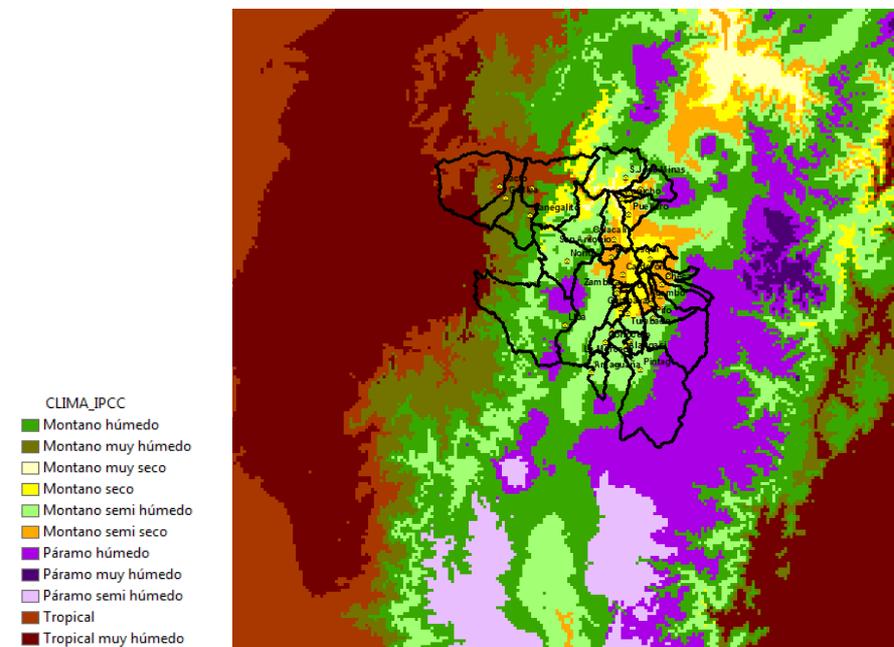


Figura 48 Mapa Climático DMQ

Como se observa, en el DMQ existen 9 tipos de clima, los cuales han sido definidos en función de la temperatura promedio y la precipitación. Este mapa resulta clave para poder establecer las zonas geográficas con una mayor amenaza climática y la repercusión de estas variables en relación a las variables socioeconómicas y de presencia de enfermedades.

## 22. 5.3 ETAPA 2: DEFINICIÓN DE LAS PREGUNTAS CLAVE DE LA INVESTIGACIÓN

Se estima que los cambios en la temperatura ocasionados por el fenómeno del cambio climático generarán variaciones respecto a las enfermedades sobre las cuales el clima tiene una influencia directa o indirecta. El efecto del clima sobre las enfermedades también depende de otros factores como las condiciones socioeconómicas y culturales de la población, así como la prevalencia de cierto tipo de enfermedades en el territorio de análisis. Por esta razón se han definido variables climáticas, socioeconómicas y de presencia de enfermedades para el cálculo de la vulnerabilidad del DMQ en el sector salud.

Bajo este escenario, las preguntas clave para el análisis sectorial son las siguientes:

1. ¿Cuál es la vulnerabilidad de la población a distintas enfermedades, dentro del contexto del cambio climático?
2. ¿Cuáles enfermedades que afectan a la población del DMQ tienen una mayor relación con las variables climáticas?

3. ¿Qué rol juegan las condiciones socioeconómicas y la prevalencia de enfermedades, en el marco del análisis de la vulnerabilidad al cambio climático en el sector salud?

4. ¿Cómo se interrelacionan los tres tipos de variables consideradas en el análisis?

### **23. 5.4 ETAPA 3: VARIABLES DE VULNERABILIDAD (AMENAZAS, EXPOSICIÓN Y SENSIBILIDAD)**

#### **SELECCIÓN DE VARIABLES**

Como se explicó anteriormente, las variables utilizadas para el presente estudio son las siguientes: presencia de enfermedades, variables socioeconómicas y variables climáticas. Dentro de las mencionadas variables, se considera a las variables socioeconómicas como **variables de sensibilidad**; la presencia de enfermedades permite determinar **la exposición**; y las variables climáticas representan la **amenaza climática** en el sector salud. A partir de este enfoque se han calculado los indicadores necesarios para la estimación de la vulnerabilidad del sector salud al cambio climático.

Dentro de las variables analizadas se consideraron en una primera instancia un amplio espectro de enfermedades. Para poder establecer de manera más precisa el nivel de vulnerabilidad del DMQ en el sector salud, se realizó un análisis de los distintos grupos de enfermedades y la influencia de variables climáticas sobre las mismas. Para esto se analizó el nivel de correlación entre distintas enfermedades y las principales variables climáticas. Este análisis se lo realizó para el periodo 2001-2010, para el cual se cuenta con información con un adecuado nivel de detalle. La tabla 1 presenta un resumen de los resultados alcanzados para las enfermedades analizadas.

Grupo de enfermedades	Enfermedad	Tmax		Tmed		Tmin		Pmed		Hum	
		r	p	r	p	r	p	r	p	r	p
Enfermedades transmitidas por alimentos	Cólera	-0,052	0,575	-0,033	0,721	0,011	0,902	-0,098	0,288	-0,108	0,242
	Otras infecciosas debidas a Salmonella	0,164	0,073	0,196	0,032	-0,110	0,230	-0,100	0,276	-0,185	0,043
	Otras intoxicaciones alimentarias bacterianas	-0,205	0,025	-0,180	0,049	0,114	0,214	0,125	0,174	0,192	0,035
	Infecciones intestinales varias	0,025	0,790	0,119	0,196	0,015	0,868	-0,406	0,000	-0,353	0,000
	Amebiasis	0,301	0,001	0,177	0,053	-0,141	0,125	-0,121	0,187	-0,131	0,154
	Teniasis	0,078	0,395	0,014	0,880	-0,114	0,216	-0,163	0,075	-0,137	0,136
	Cisticercosis	0,233	0,010	0,175	0,056	-0,133	0,148	-0,296	0,001	-0,350	0,000
	Helmintos total	0,214	0,019	0,131	0,154	-0,115	0,212	-0,275	0,002	-0,307	0,001
Enfermedades transmitidas por vectores	Dengue total	0,047	0,614	0,011	0,907	-0,039	0,673	0,007	0,942	0,006	0,950
	Paludismo total	-0,303	0,001	-0,011	0,904	0,139	0,130	0,041	0,658	0,026	0,778
	Leshmaniasis	0,042	0,645	0,038	0,676	0,039	0,673	-0,087	0,346	-0,103	0,262
Enfermedades respiratorias	Influenza total	-0,052	0,576	-0,009	0,919	0,091	0,325	0,000	0,997	0,157	0,087
	Neumonía total	-0,360	0,000	-0,189	0,039	0,316	0,000	0,411	0,000	0,558	0,000
	Bronquitis total	-0,218	0,017	-0,083	0,370	0,235	0,010	0,312	0,001	0,470	0,000
Enfermedades alérgicas	Rinitis total	0,063	0,492	0,110	0,233	0,173	0,060	-0,470	0,613	-0,450	0,622
	Asma Total	-0,410	0,660	-0,430	0,640	0,073	0,430	0,211	0,021	0,248	0,006

Tabla 23 Correlación entre variables climáticas y diversos tipos de enfermedades

Elaboración: Juan Carlos Baca

La tabla 1 presenta los valores de correlación que se observan entre distintas enfermedades y variables climáticas. El valor **r** indica el valor de la correlación encontrada (cuando se presentan valores negativos esto indica de que se trata de correlaciones inversamente proporcionales), mientras que el valor **p** indica si esta correlación es estadísticamente significativa (para esto **p** debe ser <0,1). Para facilitar la comprensión de los resultados de la tabla 1 se han resaltado en color verde todas las correlaciones estadísticamente significativas. A partir de estos resultados se presentan las siguientes conclusiones respecto a los distintos tipos de enfermedades:

Enfermedades transmitidas por alimentos:

Existe disparidad en cuanto a la relación de este tipo de enfermedades con las variables climáticas. Para algunas de ellas (teniasis, cólera) no se encuentra ninguna correlación frente a las variables contempladas, mientras que en otros casos (amebiasis, cisticercosis, helmintos, otras infecciones) se observa especialmente una correlación entre la presencia de enfermedades y el aumento de las temperaturas máximas, lo cual coincide con datos mencionados en la literatura (WHO, 2008). Sin embargo, sorprende el hecho de que para el caso de “Otras intoxicaciones alimentarias bacterianas” se observe una correlación negativa

frente a las temperaturas medias y máximas, lo cual significaría que a mayor temperatura menor presencia de las enfermedades.

También se observan correlaciones negativas de varias enfermedades en relación a la humedad, a pesar de que se esperarían los resultados contrarios. Se puede atribuir estos resultados al hecho de que las enfermedades de transmisión por alimentos no dependen únicamente de los factores climáticos, sino principalmente de variables relacionadas con los alimentos en sí, como: manejo y cocción de los alimentos, almacenamiento de los alimentos, calidad del agua consumida, etc.

Debido a que no se obtuvieron correlaciones claras y estables para el conjunto de las enfermedades por transmisión de alimentos, se determinó que no se incluirá a las mismas en el cálculo de la vulnerabilidad. Sin embargo, se debería analizar en nuevos estudios los efectos que episodios extremos como inundaciones y sequías están generando sobre este tipo de enfermedades.

#### Enfermedades transmitidas por vectores

Las enfermedades para las cuales se han encontrado mayores indicios sobre la influencia que el cambio climático tendrá sobre su incidencia entre la población, son aquellas producidas por vectores. Existen estudios a nivel internacional donde se observa que un aumento en la temperatura aumentará las zonas de influencia de los vectores transmisores de enfermedades como el dengue, la malaria o el paludismo (Morin et al., 2013), (Tanser et al., 2003).

Para el caso del DMQ no se han encontrado correlaciones claras entre las variables climáticas y la presencia de dengue y/o paludismo. Esto puede estar relacionado con que estas enfermedades no son comunes en esta ciudad, por lo cual no existen suficientes casos para realizar análisis estadísticos robustos. Al no haberse obtenido correlaciones entre la presencia de enfermedades transmitidas por vectores y variables climáticas, se ha determinado no considerar dichas enfermedades para el análisis de vulnerabilidad. A pesar de esto, se debería continuar investigando sobre la presencia de estas enfermedades en el DMQ. Esto debido a que con el aumento en la temperatura pueden establecerse nuevas zonas dentro del DMQ que presenten las condiciones adecuadas para la supervivencia de los vectores transmisores.

#### Enfermedades respiratorias y enfermedades alérgicas

Dentro de este grupo de enfermedades se han encontrado correlaciones claras entre aumento de la cantidad de casos registrados y aumento de la precipitación y la humedad (con excepción de la rinitis, enfermedad para la cual no se han encontrado correlaciones estables). Así mismo, se puede observar una correlación inversa entre temperaturas máximas y número de casos para las enfermedades respiratorias neumonía y bronquitis. Estos resultados permiten

asegurar que este tipo de enfermedades dentro del DMQ están estrechamente relacionadas a variables climáticas.

Tomando en cuenta estos resultados, se determinó que para el cálculo de vulnerabilidad del sector salud se considerarán las variables climáticas temperatura y precipitación, las variables socioeconómicas anteriormente descritas (% adultos mayores 65 años, escolaridad en mujeres mayores a 24 años y acceso a agua potable) y las enfermedades neumonía, bronquitis y asma.

#### **CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD**

El índice de vulnerabilidad del sector salud se lo calculó en función de la sensibilidad (variables socioeconómicas), la exposición (registros de egresos hospitalarios de enfermedades respiratorias) y la amenaza climática (variables climáticas). Para realizar este cálculo, en una primera etapa se calcularon los índices de sensibilidad, exposición y amenaza, mediante un proceso de normalización, el cual se detalla a continuación

#### **NORMALIZACIÓN DE LOS ÍNDICES E INDICADORES**

Como se explicó anteriormente, para poder obtener el índice de vulnerabilidad se ha trabajado con diferentes tipos de estadísticas: variables socioeconómicas, estadísticas sobre egresos hospitalarios y variables climáticas. Para poder combinar este tipo de variables en un índice único se tuvo que realizar un proceso de normalización de los indicadores, para lo cual se recurrió a diferentes herramientas de análisis estadístico

Las variables socioeconómicas y climáticas pueden ser desagregadas a nivel parroquial. Así mismo, se cuenta con estadísticas de egresos hospitalarios a nivel parroquial, pero únicamente para 10 parroquias del DMQ. Por esta razón se determinó convertir los valores numéricos de las diferentes variables a escalas cualitativas, con rangos desde muy bajo (1), hasta muy alto (5). Se aplicó una normalización de tipo logarítmica y los valores fueron posteriormente clasificados en los distintos rangos en base a la desviación estándar de la muestra. Con el objetivo de ejemplificar de mejor manera el procedimiento realizado, en la tabla 2 se ejemplifica con la variable “tasa de escolaridad mujeres mayores de 24 años” los pasos aplicados:

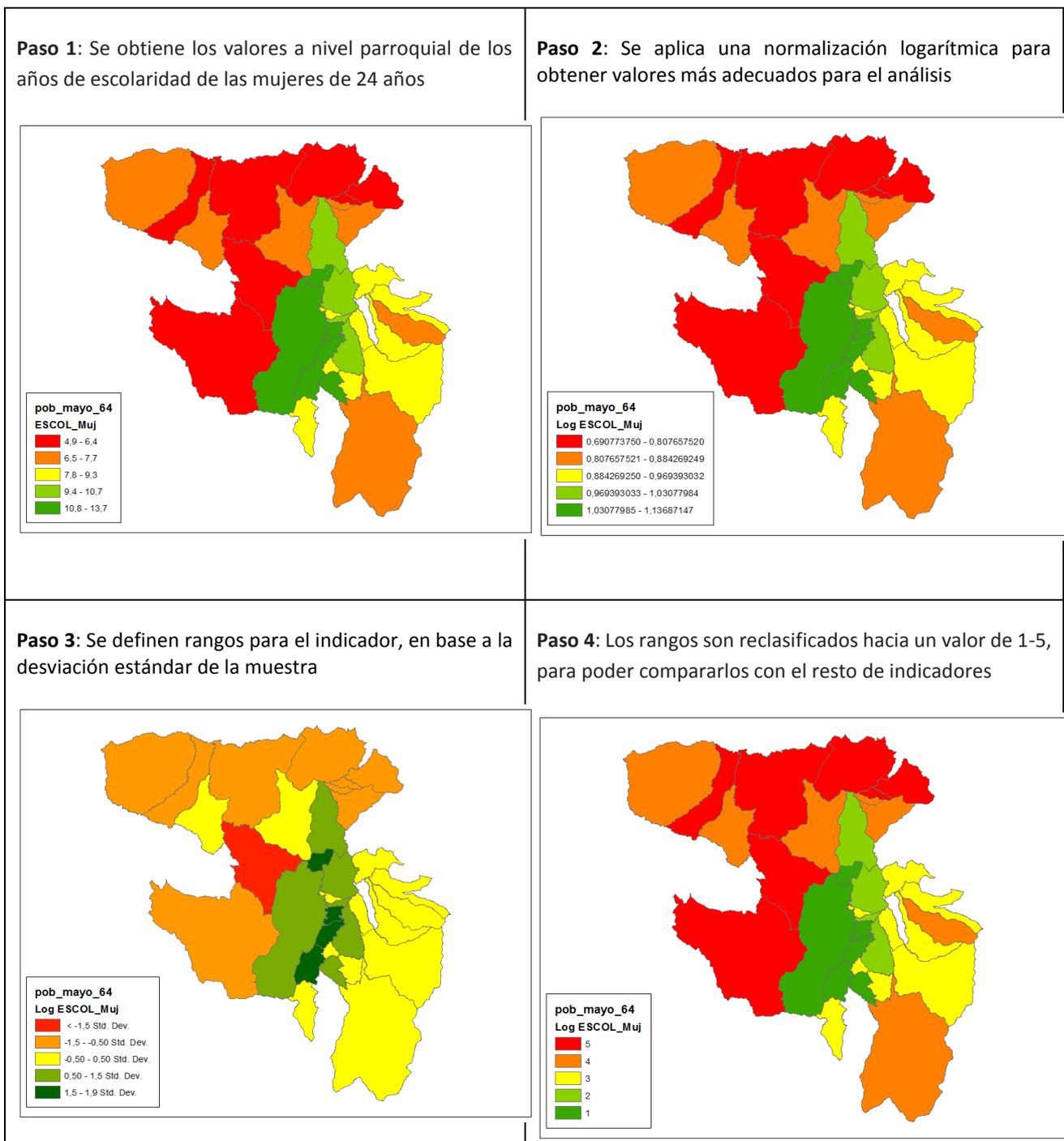


Tabla 24 Pasos para el proceso de normalización de los indicadores

Fuente: (Narváez, 2014). Elaboración propia

Bajo este proceso metodológico se pudo obtener índices a nivel parroquial, que alcanzan rangos desde muy bajo (1) hasta muy alto (5), para la sensibilidad, la exposición y la amenaza climática. A partir de estos índices se pudo calcular el índice integrado de vulnerabilidad del sector salud del DMQ.

## ÍNDICE DE SENSIBILIDAD

Para el cálculo del índice de sensibilidad se le dio distintas ponderaciones a las variables analizadas. A continuación se detalla la ecuación utilizada (Ecuación 1):

Ecuación 1:

$$IND_{sensibilidad} = \frac{IND_{pob>64años} \cdot 15 + IND_{escmujeres>24años} \cdot 10 + IND_{cobertura\_agua} \cdot 5}{30}$$

Se determinó darle una mayor ponderación al indicador de Población mayor de 64 años, ya que el mismo indica la cantidad de población altamente vulnerable a enfermedades respiratorias y alérgicas. Al indicador de escolaridad de las mujeres se le dio una ponderación media, ya que su rol sobre la sensibilidad de la población es indirecto pero, al mismo tiempo, de alcance considerable. Finalmente, el indicador de acceso a agua potable tiene la menor ponderación. Se decidió darle este valor porque en el DMQ, en términos generales, la cobertura de agua potable es media o alta, por lo tanto las parroquias con menor cobertura aun mantienen condiciones de vida estables.

Una vez aplicada la ecuación 1, se obtienen los resultados del índice de sensibilidad para las parroquias del DMQ. En la Figura 49 se presentan geográficamente los indicadores de población >64 años, tasa de escolaridad mujeres >24 años, y cobertura de agua potable, así como el índice de sensibilidad.

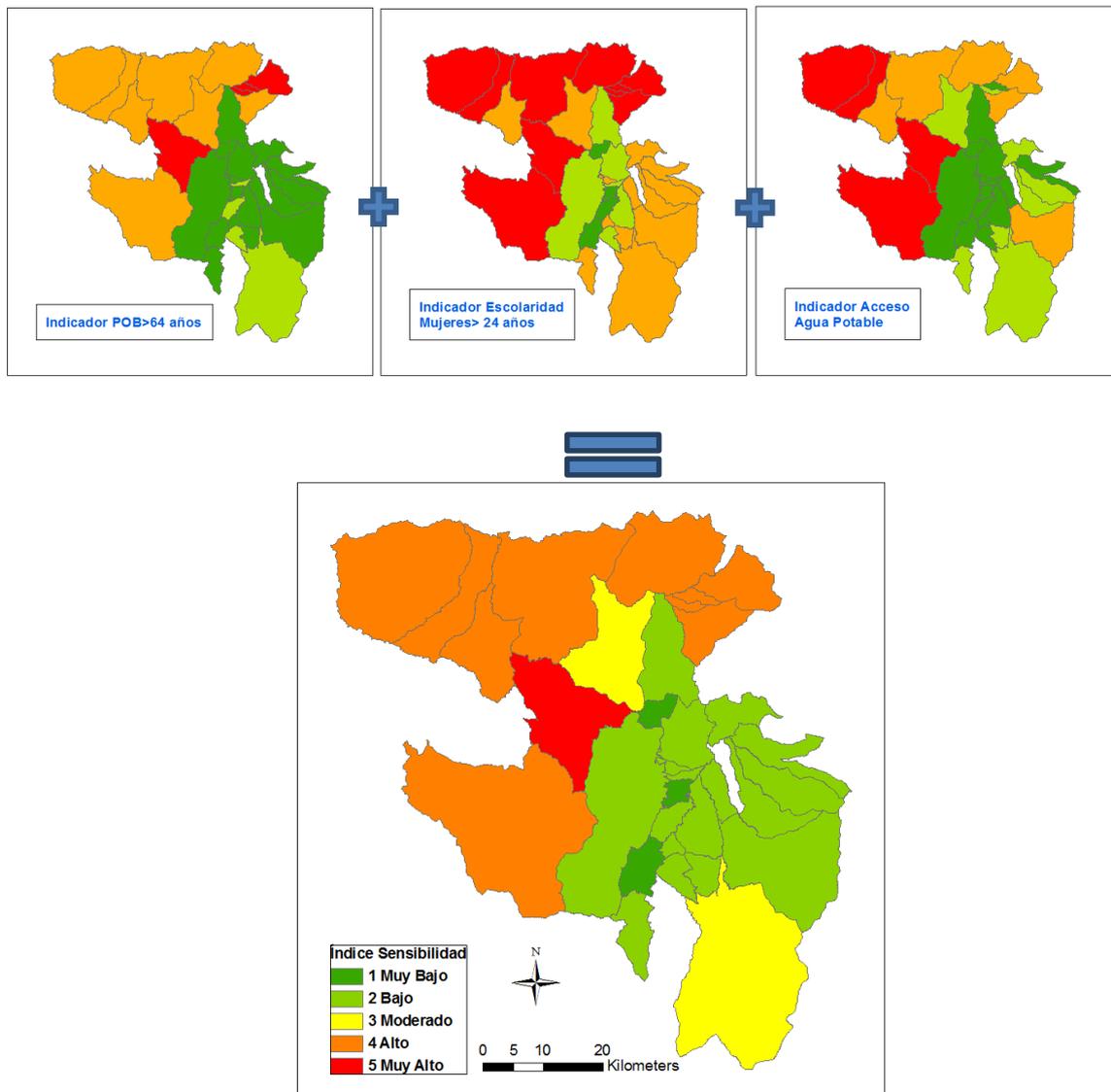


Figura 49 Distribución geográfica del Índice de sensibilidad y los indicadores correspondientes

Al analizar los resultados, resulta evidente que la mayor sensibilidad a enfermedades se encuentra en la zona Noroccidental del DMQ. Esto está relacionado con un envejecimiento de la población, una baja tasa escolaridad de las mujeres adultas y un bajo acceso a agua potable. Mientras tanto, las parroquias con un mayor carácter urbano (Quito, Cumbayá, Pomasqui) presentan los menores niveles de sensibilidad, debido a un buen acceso a agua potable, una población joven y una tasa de escolaridad alta, con lo cual su población se encuentra mejor preparada para enfrentar enfermedades.

Resulta también interesante resaltar la gran diferencia entre las partes occidental y oriental del DMQ. En la primera se encuentra la mayor concentración de cobertura vegetal natural, por lo cual sus parroquias mantienen un carácter principalmente rurales. Mientras tanto, la

zona oriental presenta mayores características urbanas y en sus parroquias se centra la productividad del DMQ. Estas características deben ser tomadas en cuenta para los programas de reducción de vulnerabilidad.

### ÍNDICE DE EXPOSICIÓN

El índice de exposición a enfermedades en el DMQ se lo realizó de manera similar a la metodología aplicada para el índice sensibilidad. En el caso de la exposición se aplicaron las variables sobre egresos hospitalarios por enfermedades respiratorias. Para cuantificar el índice de exposición se aplicó la Ecuación 2:

Ecuación 2:

$$IND_{exposición} = \frac{IND_{bronquitis} \cdot 14 + IND_{neumonía} \cdot 14 + IND_{asma} \cdot 12}{40}$$

En este caso se le dio la misma ponderación a la bronquitis y a la neumonitis, mientras que al asma se le dio una ponderación ligeramente inferior, debido a que su correlación con las variables climáticas no es tan robusta como para la bronquitis y la neumonitis.

A través de esta ecuación se calculó el índice de exposición, el cual se presenta a nivel parroquial en la Figura 50.

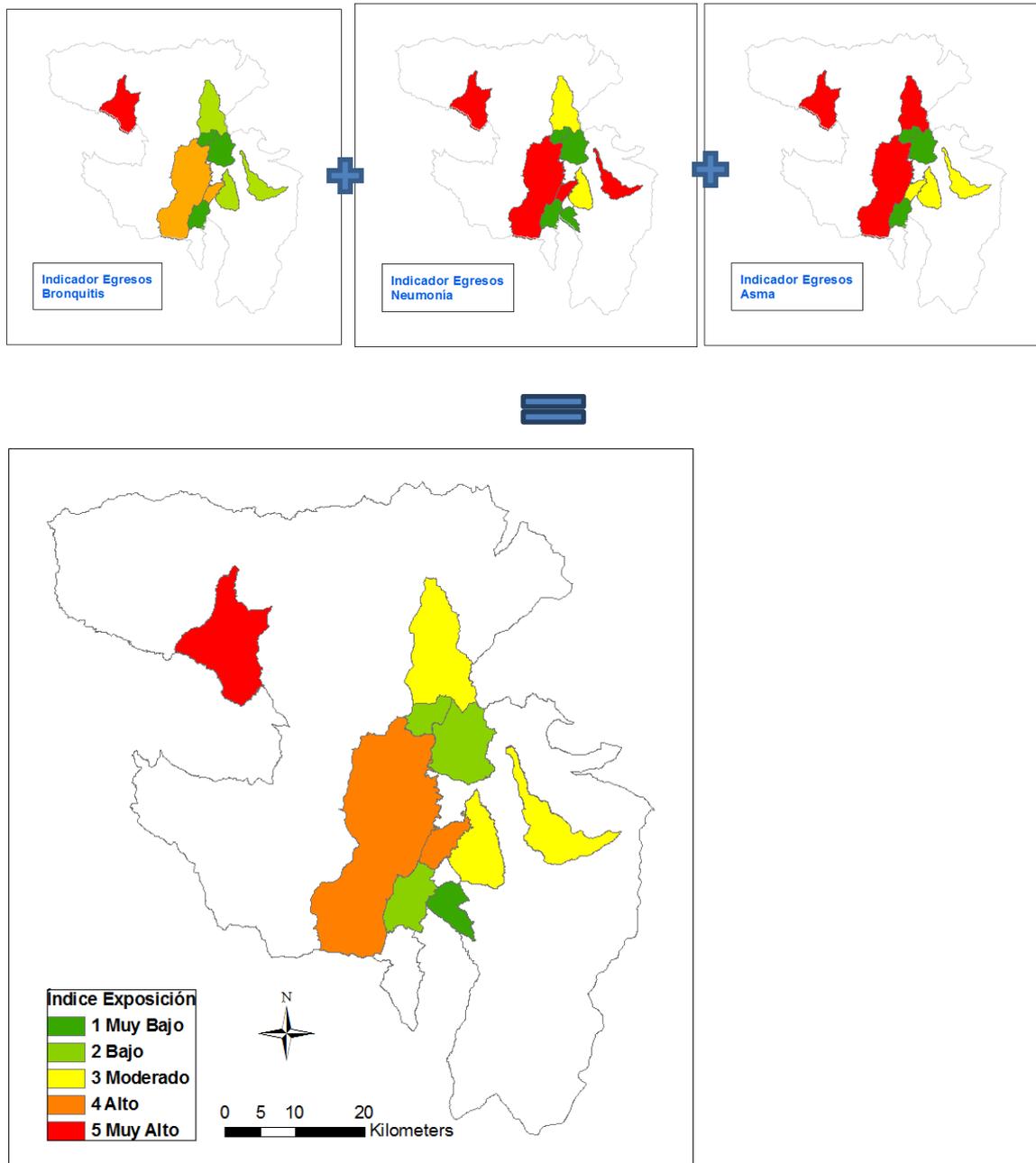


Figura 50 Distribución geográfica del Índice de sensibilidad y los indicadores correspondientes

Como se había mencionado anteriormente, únicamente se cuenta con datos para 10 parroquias. Sin embargo, a partir de los datos existentes se pueden observar tendencias interesantes respecto a la exposición de la población a enfermedades respiratorias. Los índices de exposición más altos se presentan en la zona urbana de Quito y en la parroquia de Nanegalito, en las cuales se presentan altos niveles de precipitación, según el mapa climático del DMQ. Esto coincide con las correlaciones presentadas en la tabla 1. Por otro lado, en las parroquias con menor pluviosidad y temperaturas más altas se reduce la exposición a enfermedades respiratorias, en función de un clima más benévolo.

Dentro de este análisis resulta interesante el caso de la parroquia de San Antonio. En esta parroquia existe un clima con temperaturas medias-altas y poca presencia de precipitaciones. Sin embargo, su índice de vulnerabilidad alcanza un valor de 3. Esto se debe principalmente a que su indicador de asma alcanza casi un valor de 4 (alto). Probablemente esto tiene que ver con factores externos al clima y mayormente relacionados con la calidad del aire y episodios extremos de material particulado, asociados a la presencia de canteras en esta parroquia. En la literatura se pueden encontrar casos sobre enfermedades relacionadas con este fenómeno en dicha parroquia (IFA-MDMQ, 2007).

En términos generales, se cuenta con un índice sólido de exposición a enfermedades respiratorias, cuyos resultados coinciden con los tipos de clima existentes en el DMQ. A medida que se obtengan nuevos datos sobre número de casos en las parroquias del DMQ, se podrá complementar este índice, siguiendo la metodología aplicada en este estudio.

#### ÍNDICE DE AMENAZA CLIMÁTICA

El índice de amenaza climática fue obtenido mediante un análisis detallado de los tipos de clima existentes en el DMQ y su relación con las enfermedades respiratorias que han sido analizadas. Como se observó en el análisis de correlaciones entre enfermedades y variables climáticas, existe una relación estable entre precipitación, humedad, temperatura y la presencia de enfermedades respiratorias. Se observó que la correlación entre presencia de enfermedades y precipitación y humedad es positiva (es decir, con el aumento de estas variables climáticas aumenta el número de casos), mientras que la correlación con la temperatura es negativa (a mayor temperatura, menor número de casos). Bajo este enfoque se le asignó un índice climático a cada uno de los tipos de clima existentes en el DMQ, tomando en cuenta los niveles de precipitación y temperatura que se dan en los mismos. La tabla 3 presenta los rangos e índices adoptados para los diferentes tipos de clima:

CLIMA	Precipitación	Temperatura	Valor Índice Climático
Montano Muy Húmedo	2000 - 2500	$> 11 ^ \wedge < 20$	4
Montano Húmedo	500 - 1000	$> 8 ^ \wedge < 13$	4
	1000 - 1500	$> 8 ^ \wedge < 13$	4
	1500 - 2000	$> 8 ^ \wedge < 20$	4
Montano Muy Seco	$< 500$	$> 17 ^ \wedge < 20$	1
	500 - 1000	$> 17 ^ \wedge < 21$	1
Montano Seco	500 -1000	$= 17$	1
	1000 - 1500	$> 16 ^ \wedge < 19$	1
Montano Semi Húmedo	500 - 1000	$> 12 ^ \wedge < 15$	2
	1000 - 1500	$> 12 ^ \wedge < 17$	2
Montano Semi Seco	500 - 1000	$> 14 ^ \wedge < 17$	2
	1000 - 1500	$> 18 ^ \wedge < 24$	2
Páramo Húmedo	1000 - 1500	$< 9$	5
Páramo Muy Húmedo	1500 - 2000	$< 9$	5
Páramo Semi Húmedo	500 -1000	$< 9$	5
Tropical	1500 - 2500	$> 19$	3
Tropical Muy Húmedo	$> 2500$	$> 15$	3

Tabla 25 Tipos climáticos y rangos correspondientes. Fuente: (Narváez, 2014).

Una vez establecidos los índices climáticos, se asignaron climas para cada una de las parroquias del DMQ. Para esto se utilizó un mapa en el cual se presenta la ubicación de las cabeceras parroquiales, ya que se asume que la mayor cantidad de población de las parroquias se encuentra precisamente en dichas cabeceras. Este mapa fue relacionado con el mapa de climas, de tal manera que, para el conjunto de la parroquia, se le asignó el tipo de clima en el

cual se encuentra la cabecera parroquial. En la figura 51 se presenta de manera geográfica este análisis.

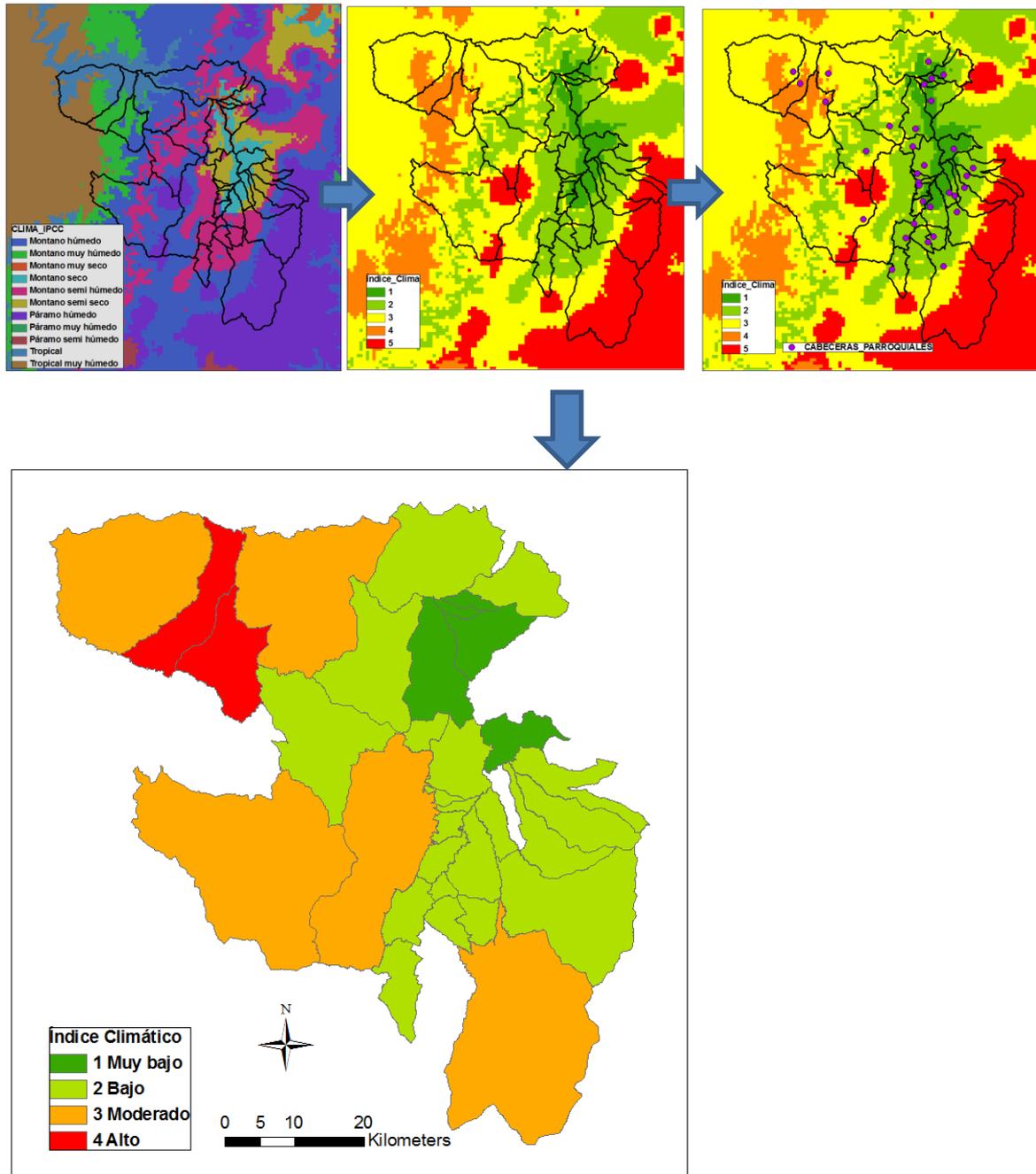


Figura 51 Distribución geográfica del Índice de Amenaza Climática, en función de los tipos de clima del DMQ

El índice climático presenta sus valores más altos en la zona noroccidental y en la zona urbana de Quito. Esto debido a que en las zonas correspondientes a estas parroquias se presentan valores altos de precipitación y temperaturas templadas. Mientras tanto, en la zona Oriente se encuentra un clima más cálido y menos lluvioso, razón por la cual se le asigna un índice climático bajo, que concuerda con condiciones menos agresivas respecto a enfermedades respiratorias.

A través del análisis realizado se obtiene un índice climático en función de la precipitación y la temperatura y su relación con la presencia de enfermedades respiratorias. Este índice puede ser actualizado en función de las variaciones en temperatura y precipitación que se generarán debido al fenómeno del Cambio Climático, por lo cual resulta ideal para analizar la vulnerabilidad del DMQ en el sector salud, dentro del contexto del Cambio Climático.

#### ÍNDICE DE EXPOSICIÓN INFERIDO

En la sección 4.2.3 se presentaron los resultados del índice de exposición para las parroquias del DMQ para las cuales se cuenta con estadísticas sobre egresos hospitalarios. Para obtener este índice para aquellas parroquias para las que no se cuenta con datos estadísticos, se recurrió a una extrapolación de los datos, en base al índice climático y al índice de exposición. Para esto se utilizaron los datos de exposición de las parroquias para las cuales se cuenta con datos y se les otorgó este mismo valor a las demás parroquias con el mismo índice climático. Por ejemplo, en el caso de Nanegalito (índice de exposición 4, índice climático 4), se le dio el mismo índice de exposición a todas las parroquias con su mismo índice climático (Gualea). Este análisis se lo realizó para todas las parroquias en las cuales no se cuenta con datos de egresos hospitalarios. La figura 52 resume el proceso de construcción de este índice:

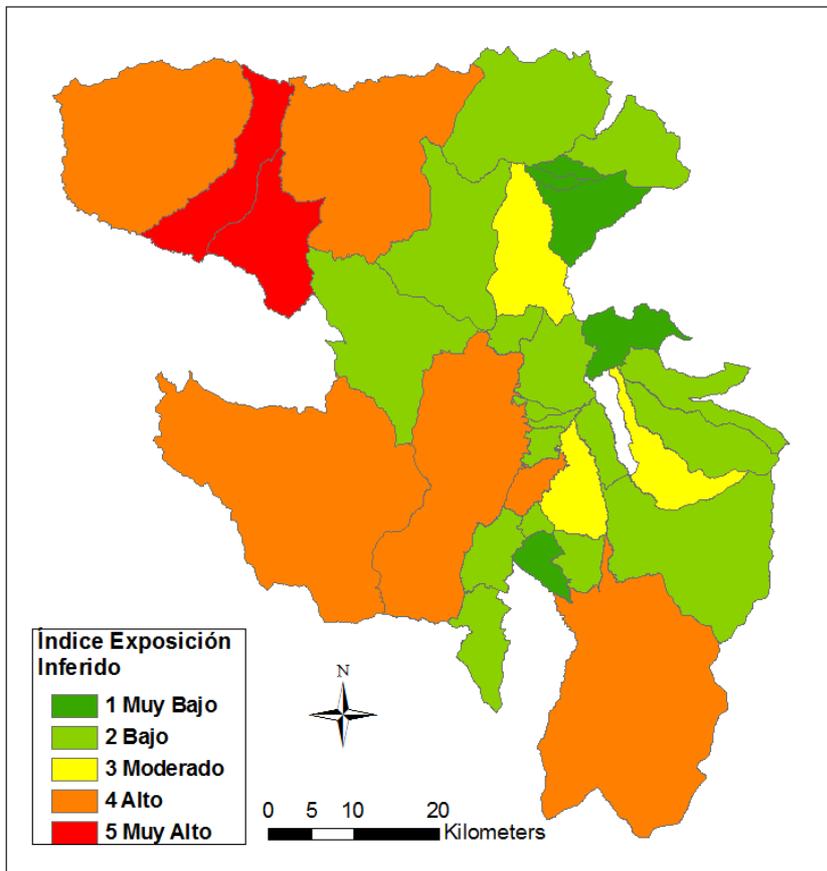
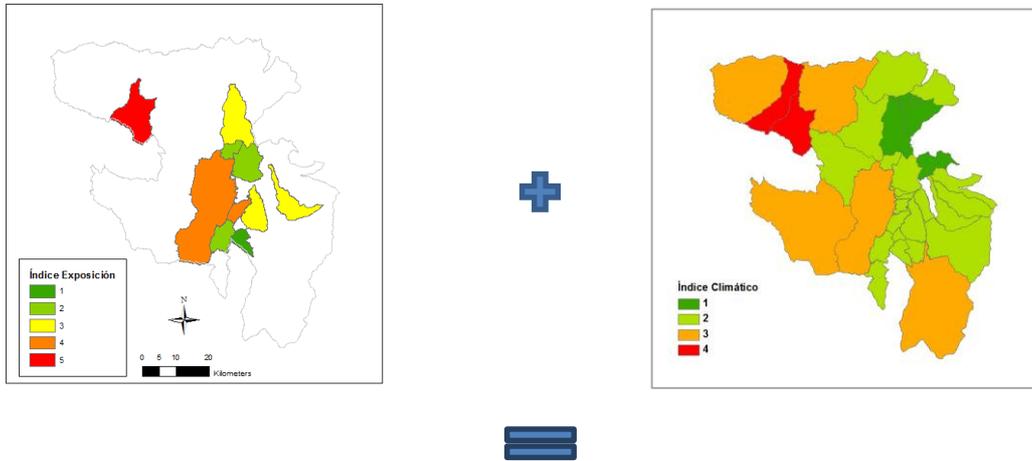


Figura 52 Distribución geográfica del Índice de Exposición Inferido

El índice de exposición inferido mantiene las mismas tendencias que el índice de exposición. Las zonas con mayores niveles de exposición se presentan en el Noroccidente y en las cercanías de la zona urbana de Quito (zonas con índices de amenaza climática moderados y altos), mientras que las parroquias al Nororiente y Oriente del Distrito tienen una exposición media o baja, asociada con condiciones climáticas más benévolas en relación a enfermedades respiratorias.

### ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

Una vez obtenidos los indicadores e índices necesarios, se procedió a calcular el “Índice de Vulnerabilidad del Sector Salud del DMQ”. Este se constituye en base al Índice de Sensibilidad, al Índice de Exposición y al Índice de Amenaza Climática. Para el cálculo final del Índice de Vulnerabilidad se aplicó la ecuación 3:

Ecuación 3:

$$IND_{vulnerabilidad} = \frac{IND_{sensibilidad} \cdot 30 + IND_{exposición} \cdot 40 + IND_{climático} \cdot 30}{100}$$

Se otorgaron ponderaciones similares a cada uno de los índices utilizados. El índice de exposición es el que mayor ponderación tiene, ya que se basa en las estadísticas más exactas respecto a la presencia de enfermedades respiratorias en la población del DMQ. Los índices de sensibilidad y amenaza tienen la misma ponderación, bajo el enfoque de que la población podrá tener una menor vulnerabilidad si mejora sus condiciones de vida (disminución de la sensibilidad) pero se encuentra indefensa ante posibles eventos climáticos extremos (aumento de la amenaza). Bajo estas consideraciones, la figura 53 presenta el resumen del índice de vulnerabilidad del sector salud del DMQ, con una desagregación a nivel parroquial.

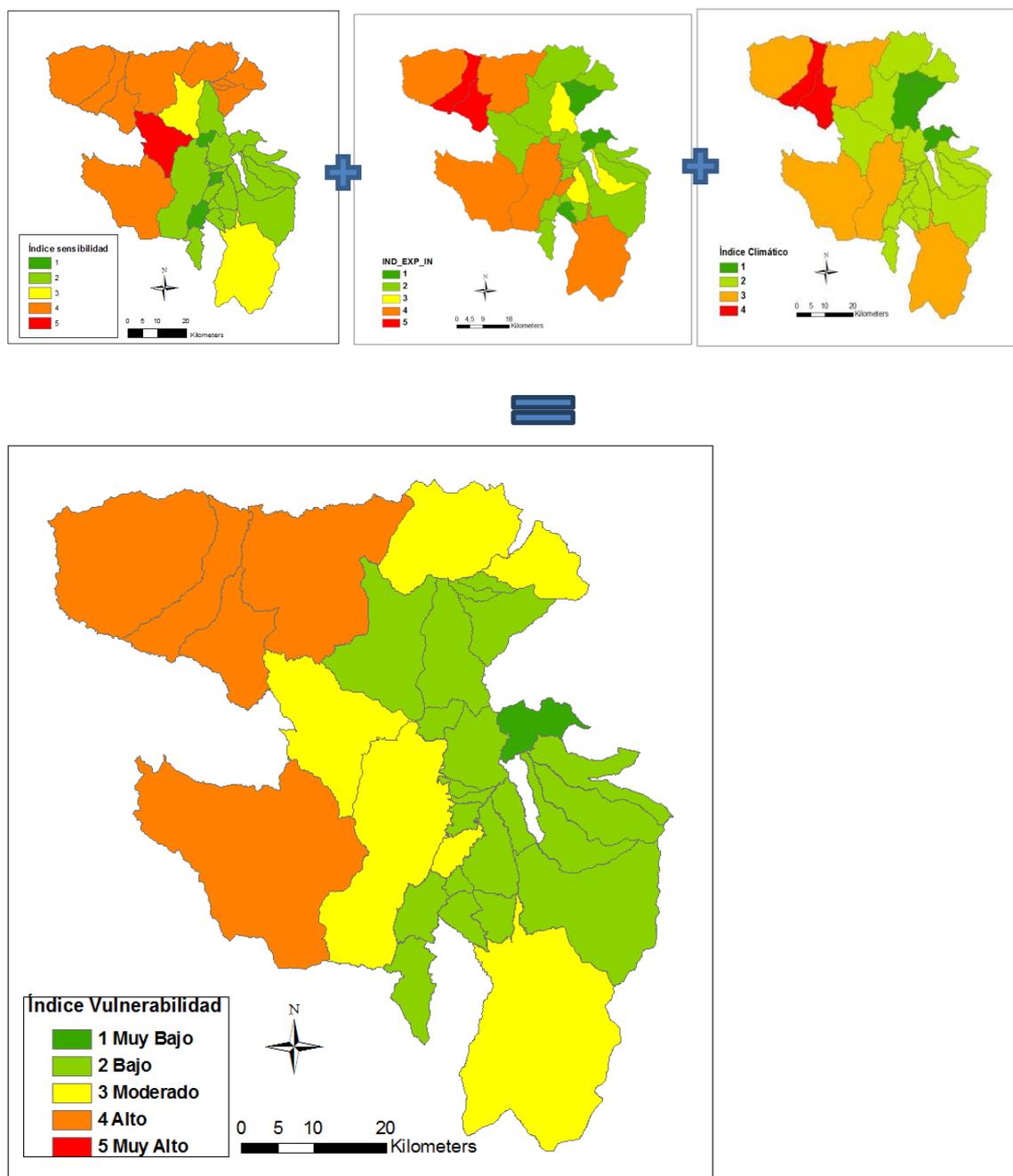


Figura 53 Distribución geográfica del Índice de Vulnerabilidad, en base a los índices de Sensibilidad, Exposición y Amenaza Climática

En la Figura 53 se presenta el Índice de Vulnerabilidad del Sector Salud para todas las parroquias del DMQ, con excepción de Tababela<sup>17</sup>. Dentro del DMQ se encuentran Índices de

<sup>17</sup> Para esta parroquia no se pudieron obtener datos consolidados de variables socioeconómicas ni de egresos hospitalarios. Por esta razón no se la toma en cuenta para el análisis.

Vulnerabilidad entre 1 (muy bajo) hasta 4 (alto). La mayor vulnerabilidad se encuentra en las parroquias del Noroccidente (Nanegalito, Nanegal, Pacto y Gualea) y Lloa. Estos resultados están asociados a: 1) valores altos de sensibilidad, los cuales se deben a una baja cobertura de agua potable, una población envejecida y una baja escolaridad de las mujeres; 2) y 3) valores altos de exposición a enfermedades respiratorias y valores altos de amenaza climática, coincidiendo con un clima con alta presencia de precipitaciones (>2000mm al año).

Una vulnerabilidad moderada se presenta en la zona urbana de Quito y en las parroquias de Cumbayá, San José de Minas, Atahualpa, Nono y Pifo. Estos resultados se deben a diversos factores. En la zona urbana de Quito estos resultados se deben principalmente a una alta exposición a enfermedades respiratorias y a un clima templado-frío con alta presencia de precipitaciones. Mientras que en las parroquias rurales el nivel de vulnerabilidad moderado proviene principalmente de una alta sensibilidad, ocasionada por condiciones socioeconómicas moderadas-bajas.

Finalmente, en la zona oriental del DMQ se encuentran las parroquias con menor Índice de Vulnerabilidad respecto a enfermedades respiratorias. Al observar los diferentes índices se puede comprobar que en estas parroquias coincide un clima benigno (en relación a enfermedades respiratorias), una exposición moderada-leve a las enfermedades analizadas y una sensibilidad baja, relacionada con condiciones de vida buenas o aceptables.

A nivel general, el Índice de Vulnerabilidad del Sector Salud en el DMQ alcanza un valor promedio de **2,5**, lo cual correspondería a un valor moderado-bajo. Sin embargo, como se explicó anteriormente existen parroquias del DMQ con Índices de Vulnerabilidad altos. Así mismo, la zona urbana de Quito, en donde se concentra el mayor porcentaje de la población del DMQ, tiene un Índice moderado, el cual podría aumentar de existir eventos climatológicos extremos, como grandes precipitaciones o heladas. Por otro lado, los resultados de este estudio permiten observar desequilibrios regionales respecto a la vulnerabilidad de las parroquias en relación a enfermedades respiratorias, por lo cual se deberían desarrollar estrategias de adaptación específicas, considerando los 3 elementos de análisis: sensibilidad, exposición y amenaza climática.

El Índice de Vulnerabilidad que se presenta en este estudio se enmarca dentro de lo observado para las condiciones actuales de la ciudad, desde el punto de vista socioeconómico, climático y de exposición a enfermedades. Además de esto, en el marco del presente estudio se realizó una modelación para estimar las condiciones climáticas que existirían en el año 2050, de acuerdo a los escenarios de WorldClim. Se utilizaron los mismos rangos de tipos climáticos descritos en la tabla 26, de tal manera que se pueda observar a detalle los cambios que se producirían en el DMQ. Para facilitar la comprensión de los gráficos se utiliza como escala el índice climático.

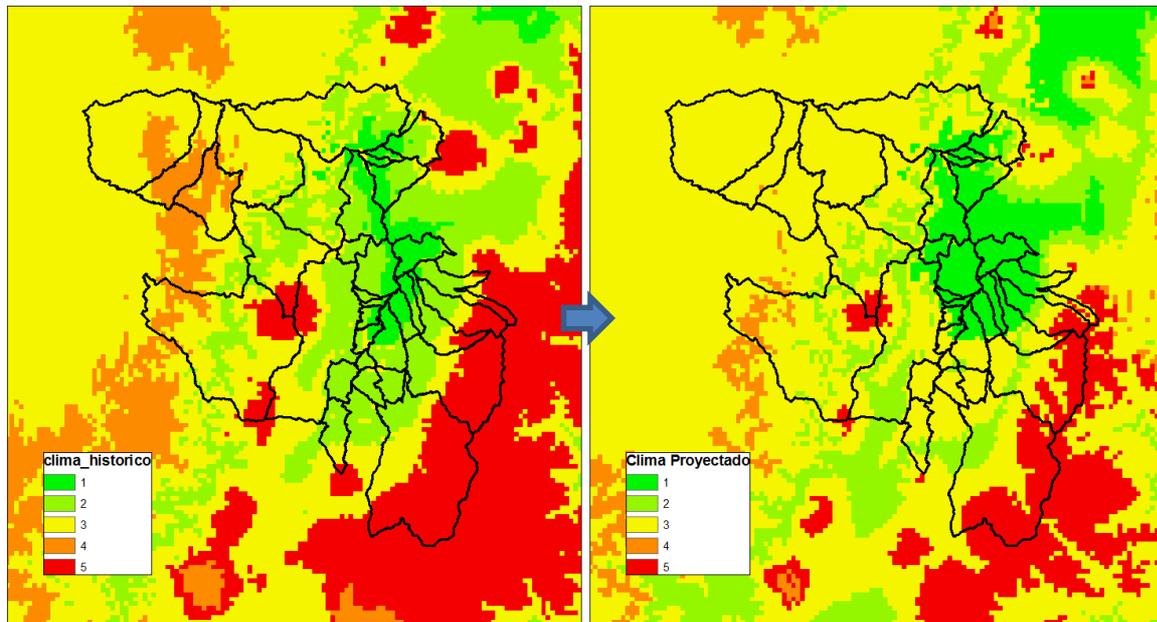


Figura 54 Cambios en el Clima. Clima Histórico vs. Clima Proyectado al 2050

A partir de este gráfico se pueden extraer conclusiones importantes. En términos generales, y desde el punto de vista del Índice Climático, las condiciones en el Distrito mejoran, pues se reducen las zonas con extremas lluvias, las cuales tienen un efecto negativo sobre las enfermedades respiratorias. Sin embargo, al observar la zona Sureste de la ciudad (parroquias La Merced, Alangasí, Pifo, Conocoto), se presenta un aumento del índice (color amarillo), asociado con una mayor presencia de lluvias. Al contrario, en la zona Nororiente (parroquias Calderón, San Antonio, Guayllabamba, El Quinche) se consolida un índice bajo (color verde), de manera paralela a una disminución de las precipitaciones y un aumento de la temperatura promedio.

Este gráfico permite observar posibles tendencias en el clima del DMQ. En algunas zonas aumentarán las precipitaciones, mientras que en otras se prevén escenarios de mayores temperaturas y menores lluvias. En el caso del análisis realizado, un clima ligeramente más caliente y con menores precipitaciones corresponde a una menor amenaza frente a enfermedades respiratorias. Sin embargo, se debe considerar que esto puede afectar a la salud de la población respecto a otras enfermedades como aquellas transmitidas por vectores, por consumo de alimentos o las enfermedades de la piel.

A pesar de contar con la proyección del clima para el año 2050, se determinó no calcular una proyección del Índice de Vulnerabilidad hasta ese año, debido especialmente a que se desconoce un aspecto clave a futuro: las variables de sensibilidad. Sin contar con este factor, un Índice de Vulnerabilidad futuro tendría una incertidumbre demasiado alta, por lo cual se consideró más apropiado conducir el modelamiento a futuro únicamente para el Índice

Climático. Sin embargo, con esta información es posible realizar nuevas investigaciones, para analizar escenarios de vulnerabilidad, en base a cambios en las condiciones socioeconómicas de la población, en combinación con el escenario climático proyectado.

#### **24. 5.5 CONCLUSIONES SECTOR SALUD**

A lo largo del presente estudio se ha calculado el Índice de Vulnerabilidad del Sector Salud en el DMQ, en relación a enfermedades de tipo respiratorio (bronquitis, neumonía y asma), para las cuales se cuenta con evidencia empírica acerca de su correlación con variables climáticas como precipitación, humedad y temperatura.

Par realizar dicho cálculo se ha desarrollado un modelo integral, el cual combina variables socioeconómicas, estadísticas sobre egresos hospitalarios y variables climáticas, bajo el enfoque metodológico de cálculo de vulnerabilidad en función de la sensibilidad, la exposición y la amenaza climática.

Los resultados del presente estudio muestran grandes diferencias entre el índice de vulnerabilidad de las distintas parroquias del DMQ, con rangos que van desde 1 (muy bajo) hasta 4 (alto). Las parroquias más vulnerables se encuentran en la zona Noroccidental del DMQ, debido a que en estas parroquias las condiciones socioeconómicas son medias-bajas y se encuentran en zonas cuyo índice de amenaza climática es alto, en relación a la aparición de enfermedades respiratorias. Mientras tanto, la zona urbana de Quito tiene un índice de vulnerabilidad moderado que podría aumentar a alto en el caso de que episodios climáticos extremos aumenten su frecuencia en el futuro, como consecuencia del Cambio Climático.

Resulta importante analizar los resultados del Índice de Vulnerabilidad desde un enfoque integral. Las parroquias con menor vulnerabilidad se ubican en la zona oriental del DMQ, donde se empezarán a generar polos de desarrollo en los próximos años. En estas zonas existe un clima benévolo en relación a enfermedades respiratorias y las condiciones socioeconómicas de la población son medias-altas. Por esta razón se deberían fomentar en dichas zonas proyectos productivos ambiental y económicamente sostenibles, con el objetivo de incrementar las condiciones socioeconómicas de la población. De esta manera se podrán mantener índices bajos de sensibilidad y vulnerabilidad en el conjunto de su población.

Por otro lado, resulta fundamental desarrollar programas particularizados de adaptación al cambio climático en las parroquias del DMQ. De acuerdo a los resultados de este sector, las parroquias del Noroccidente de la ciudad deberían ser un objetivo prioritario, ya que actualmente tienen una vulnerabilidad alta. Para esto se deberá intervenir principalmente en el mejoramiento de las condiciones de vida de la población, de manera que se pueda reducir la vulnerabilidad de la misma. Así mismo, se debe fortalecer los programas de salud pública de estas parroquias rurales, especialmente desde un enfoque preventivo.

A partir de este estudio se cuenta con un modelo sólido de análisis de vulnerabilidad en el sector salud, el cual podría replicarse para calcular nuevos índices en función de otro tipo de enfermedades, como las transmitidas por alimentos o aquellas transmitidas por vectores. Sin embargo, para esto se deben obtener datos suficientemente robustos que permitan establecer correlaciones entre la presencia de enfermedades y diversas variables climáticas.

Una investigación de este tipo que resulta clave está relacionada con el cáncer de piel. Se conoce la relación entre este tipo de cáncer y radiación solar, pero aún existe incertidumbre acerca de cómo el aumento de la temperatura podría incrementar este efecto. Considerando que la Secretaría de Ambiente cuenta con un sensor de radiación ultravioleta y que en el DMQ existen registros consolidados sobre tipos de cáncer, se podría iniciar un proyecto para observar si el número de casos de cáncer piel está aumentando de manera paralela a una mayor presencia de días soleados.

Además de esto, resulta clave para afinar los resultados del Índice de Vulnerabilidad obtener estadísticas sobre egresos hospitalarios para las parroquias que actualmente no cuentan con esta información. Estos datos deberían ser ingresados en las bases de datos correspondientes de manera de obtener un Índice de Exposición únicamente en base a estadísticas de campo, y no por medio de un Índice Inferido.

Adicionalmente se generó una proyección de los tipos de clima hasta el 2050, lo cual permite observar tendencias acerca de cómo se modificará el clima en las parroquias del DMQ. Esta información puede ser la base para analizar distintos escenarios de vulnerabilidad, en función de la modificación de las condiciones de vida de la población.

Finalmente, cabe anotar que el estudio presentado permite obtener resultados consistentes acerca de la vulnerabilidad del DMQ al Cambio Climático en el sector salud, con una desagregación parroquial. A partir de estos datos se debe profundizar en las causas subyacentes de los niveles de vulnerabilidad existentes (especialmente en aquellas parroquias con niveles de vulnerabilidad altos), lo cual únicamente se lo podrá alcanzar mediante el trabajo conjunto entre las instituciones públicas del DMQ y las comunidades involucradas.

### 25.6.1 LA FORMULACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD EN LOS ESTUDIOS DE INCENDIOS FORESTALES EN EL DMQ?

La ocurrencia de incendios forestales y cobertura vegetal ocasionan problemas en los ecosistemas y en la infraestructura pública y privada. Dichos eventos son recurrentes en la época de verano, entre los meses de julio, agosto y septiembre.

Los incendios suponen la pérdida de vegetación con impactos sobre especies endémicas, la capacidad de retención de humedad del suelo, purificación del aire, y pérdida de hábitats naturales, y también pueden dañar infraestructura física (casas y cerramientos), equipamientos estratégicos como antenas de telecomunicación, sistemas de transporte de energía, cultivos y otros medios de vida.

Frente a esta problemática en 2010 la Secretaria de Seguridad y Gobernabilidad y su Dirección de Riesgos y la Secretaria del Ambiente desarrollaron el proyecto piloto de “estimación de la susceptibilidad a incendios forestales en el DMQ”<sup>18</sup>. En el marco de este programa se elaboró un modelamiento espacial para la elaboración de un mapa de susceptibilidad del DMQ a incendios forestales. Dicho modelo permite identificar las zonas que son susceptibles a incendiarse por diversos criterios:

- Combustibilidad de la vegetación
- Biomasa de la cobertura vegetal
- Topomorfología de relieve de cultivos

El mapa resultante de la aplicación de este modelo identifica las zonas de vegetación que son propensas a sufrir incendios, considerando factores básicamente biofísicos y emplazamientos topográficos de la cobertura vegetal (Figura 55).

---

18

En el marco del Proyecto de Sistemas de Información Geográfica de Gestión de Riesgos para el DMQ”, a cargo de la Secretaria de Seguridad y Gobernabilidad con apoyo de la Secretaria del Ambiente del MDMQ

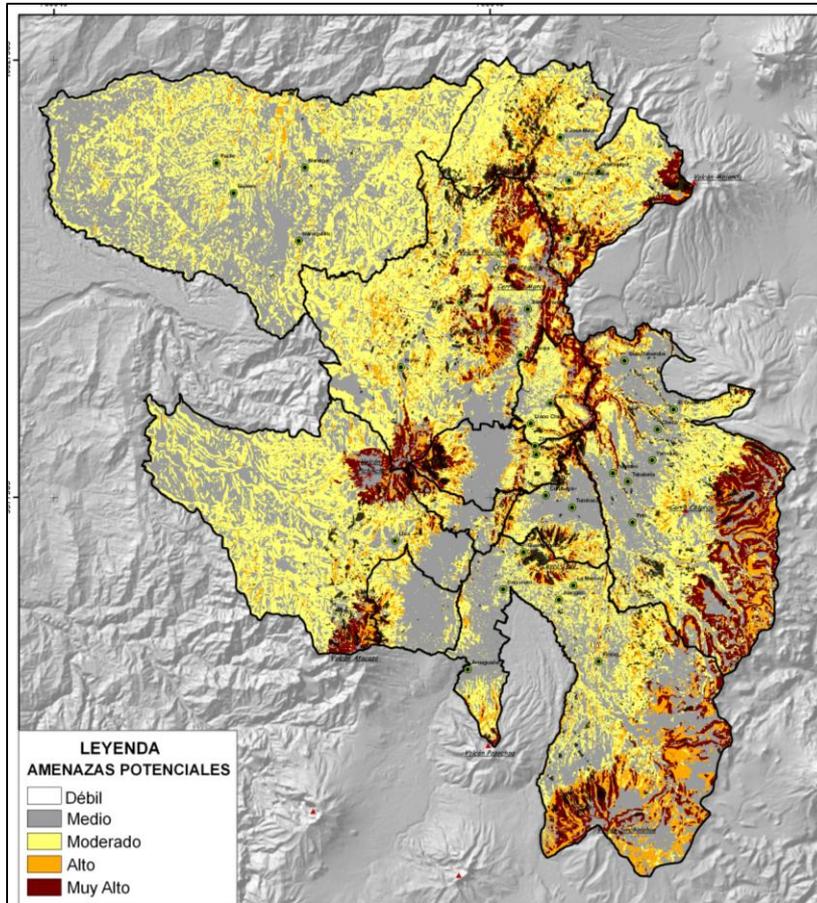


Figura 55 La susceptibilidad de incendios forestales en el DMQ

Este insumo constituye una contribución importante para la gestión de riesgos en el DMQ y para la prevención de la recurrencia anual de incendios forestales. Dada su utilidad práctica en la prevención y la planificación de la emergencia, se constituye en una herramienta de gran importancia para la Dirección de Riesgos y el Cuerpo de Bomberos de Quito.

Según los siniestros observados en los últimos 15 años se evidencia que existe una elevada intensidad y cantidad de incendios suscitados en el período 2001 - 2009). Si bien el área quemada anual no excede en promedio el 1% del total de la superficie del DMQ (Unidad de Riesgos SSG, 2009), se corre el riesgo de perder espacios de alta sensibilidad ambiental, de protección e interés que merecerían otros análisis más localizados. Además, la pérdida de espacios estratégicos no es la única evidencia post-desastre, sino también las consecuencias sanitarias, y en el funcionamiento y desarrollo territorial del DMQ. Con esta óptica de análisis, el estudio detallado de las consecuencias recobra un interés primordial. Se debe considerar también la mayor recurrencia de incendios en determinados años, marcando picos altos de siniestros como los suscitados en los años 2001 y 2009 (Cuerpo de Bomberos de Quito, 2013) (Ver gráfico 1). A esto se suma la elevada ocurrencia de incendios forestales en 2012, año

considerado excepcional no solo por la cantidad e intensidad de los incendios suscitados sino también por nivel el de consecuencias y daños provocados.

El número de incendios registrados en 2012 es similar al de los siniestros de 2001. Solo el área quemada por los incendios de 2012 equivale a alrededor del 46% del área total afectada durante el periodo 2001-2011. Esto quiere decir que los incendios de 2012 constituyen casi la mitad del total de eventos registrados en un periodo de 11 años, convirtiendo al 2012 en el año de mayor impacto en cuanto a incendios forestales en el DMQ<sup>19</sup>.

Frente a esta problemática es necesario contar con otro tipo de herramientas que coadyuven a las políticas de reducción de incendios de forestales. El conocimiento de las zonas de mayor susceptibilidad no es suficiente para generar acciones correctivas, ya que permite conocer solo las propiedades de inflamabilidad de la cobertura vegetal y su expansión, pero no otros factores relacionados con la influencia de las actividades antrópicas y del clima. Por ello, un nuevo estudio de riesgos que vincule de forma integral estas dimensiones en la génesis y desarrollo del incendio podría mejorar las acciones y planes de la municipalidad en materia de prevención y respuesta.

El estudio de los incendios forestales: importancia de su comprensión en el marco del cambio climático Una temática cada vez más preocupante a nivel mundial es la relación del cambio climático con los incendios forestales. Los incendios recurrentes en la región mediterránea europea propiciaron muchos debates en torno a las variaciones climáticas y su influencia en la generación de incendios. Esto se debe a la constatación de las extremas temporadas de verano con días más secos y de elevada temperatura que afectan a la vegetación<sup>20</sup>. En otras partes del mundo como en Canadá las quemas son cada vez más frecuentes y de mayor intensidad, sobre todo en los bosques de la región boreal del Oeste.

---

<sup>19</sup> En el año 2012 se registran alrededor de 1073 incendios afectando entre propiedad pública y una gran cantidad de vegetación natural importante para los ecosistemas y el bienestar de la población. Entre la vegetación más comúnmente afectada están pastizales, arbustos húmedos y secos y bosques húmedos (SA-MDMQ-2012).

<sup>20</sup> Cada año se estima que suceden cerca de 50000 incendios que recorren de 700000 a 1000000 de hectáreas de monte, produciendo causando elevados daños económicos y ecológicos e incluso la pérdida de vidas humanas, (FAO, Departamento de Montes 1990), e Esta tendencia ha aumentado especialmente en Grecia donde ha pasado de 12000 has afectadas a en los años 70 a 39000 en el 2011, en. En la esta misma situación esta se encuentra Italia de 43000 a 118000, Marruecos, España y la ex Yugoslavia (FAO, 2012)

Las interrogantes surgen cuando se reportan temporadas de alta sequedad y temperaturas más elevadas como eventos extraordinarios (denominadas olas de calor), condiciones marcadas en cada época estacionaria que podrían aumentar los riesgos de incendios. Estos cambios de temperatura pueden, además, contribuir a la mortalidad de los árboles, reducir la resiliencia de las regiones madereras a eventos climáticos como la sequedad, y generar factores de propagación de incendios.

Por ejemplo, los bosques del oeste del Canadá han sufrido condiciones de sequedad récord últimamente. En el período 2001-2003 y en el año 2009 los episodios de sequía han causado una mortalidad y degradación forestal importantes, tendencias que han continuado con el marcado descenso de la productividad forestal (Chan Randy, 2012)<sup>21</sup>. A todo esto se suma la fuerte presión existente entre espacios antropizados con espacios naturales que generan otro factor de amenaza que podría incidir en la iniciación de los incendios. En efecto, el territorio analizado como un espacio elemental conlleva un sinnúmero de equipamientos, obras e infraestructura en expansión. La mancha urbana es un fenómeno mundial que marca un cambio de uso de suelo y la incorporación de hábitos culturales muchas veces iniciadores de incendios.

Frente a esta problemática mundial, el Ecuador también reporta algunas estadísticas de incendios suscitados, aunque de forma muy dispersa. Por ejemplo, el informe de Evaluación de incendios forestales realizado en 2012 por la SA revela que el sur del país, y en particular Loja, ha sido afectado por un gran número de incendios. Desde 1981 hasta 1992 “(...) Loja registra 614 incendios, afectando una superficie de 10. 597,85 hectáreas, seguido de la provincia de Pichincha con 315 incendios y una superficie afectada de 1.235,39 hectáreas. En el año 2000, la provincia de Loja registró 85 incendios que afectaron 4.884,49 ha.; en tanto que para el año 2001 la Unidad Operativa de Prevención y Control del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Quito reportó 892 incendios, afectando una superficie de 1.077 hectáreas” (SA, 2012). Es decir que la cantidad de incendios aumentó significativamente especialmente en Pichincha. La mayor cantidad de siniestros registrados en Pichincha coincide con un año excepcional de sequía y temperaturas altas durante los meses de julio a noviembre.

Otro año excepcional de mayor temperatura y sequía fue 2012, cuando Carchi y Pichincha fueron las provincias más afectadas a nivel nacional. Ambas provincias localizadas al norte del

---

<sup>21</sup> Ponencia recogida como estudios de caso dentro del seminario “Prosperité Climatique, rapport Nro 5” a cargo de instituciones canadienses como TRN (table ronde Nationale sur L’environnement et l’économie) UNE Initiative Canadienne, 2012.

país registraron alrededor del 50% del área quemada a nivel nacional. Al ser parte de la provincia de Pichincha y presentar una extensa cobertura vegetal, el DMQ no es la excepción. En 2012 el DMQ soportó temperaturas extremas y sequía, factores que provocaron una mayor propagación y duración de los incendios con consecuencias muy destructivas.

Con estos antecedentes, el presente estudio hace hincapié en la comprensión de la dinámica de los incendios considerando variables antrópicas y climáticas.

#### **EL PROCESO METODOLÓGICO PARA LA ELABORACIÓN DE LOS INCENDIOS FORESTALES**

Actualmente el DMQ cuenta con una herramienta para medir la susceptibilidad a incendios forestales. No obstante, este insumo no puede ser considerado un *mapa de amenaza de incendios forestales* sino de vulnerabilidad (susceptibilidad) de la vegetación del DMQ a sufrir incendios por factores intrínsecos y de localización. Para complementar este esfuerzo y en procura de generar una herramienta de ayuda a la planificación preventiva, se confeccionó un mapa de *riesgos o peligros potenciales de incendios forestales*, que proporciona información sobre las zonas de presión antrópica o de iniciación del fuego y de propagación de los incendios, tomando en cuenta variables climáticas. Para este efecto, es necesario generar varios indicadores que ayuden a medir o estimar el fenómeno iniciación/propagación de los incendios cuyo uso pueda ser replicado por los sectores relacionados con la gestión de riesgos en el Distrito.

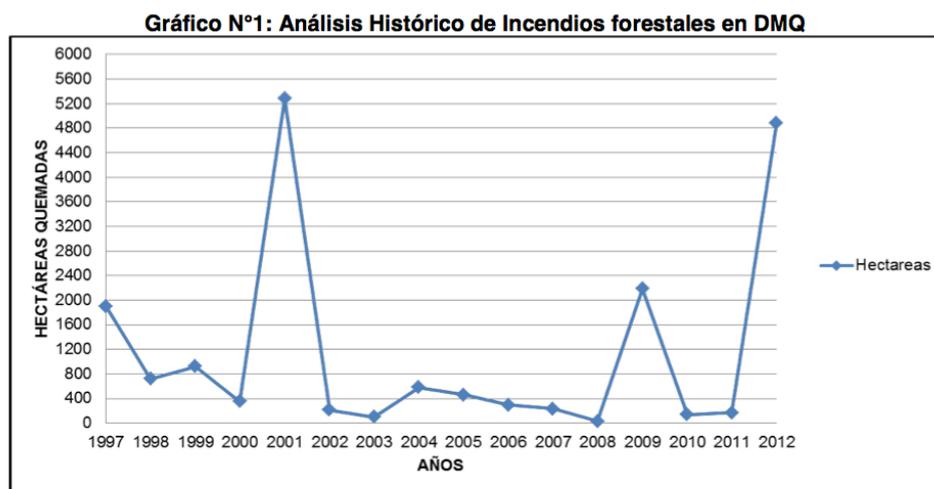
#### **26.6.2 ETAPA1: PROCESO DE CONSTRUCCIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO**

La SA y la Dirección de Riesgos (perteneciente a la Secretaria de Seguridad y Gobernabilidad del MDMQ) requieren una herramienta para mejorar el conocimiento del comportamiento de los incendios en el Distrito y de esta forma priorizar las zonas donde se requiere reforzar las capacidades preventivas y operativas por parte de las entidades correspondientes.

Este insumo constituye una contribución importante para la gestión de riesgos en el DMQ y para la prevención de la recurrencia anual de incendios forestales. Dada su utilidad práctica en la prevención y la planificación de la emergencia, se constituye en una herramienta de gran importancia para la Dirección de Riesgos y el Cuerpo de Bomberos de Quito.

Según los siniestros observados en los últimos 15 años se evidencia que existe una elevada intensidad y cantidad de incendios suscitados en el período 2001 - 2009). Si bien el área quemada anual no excede en promedio el 1% del total de la superficie del DMQ (Unidad de Riesgos SSG, 2009), se corre el riesgo de perder espacios de alta sensibilidad ambiental, de protección e interés que merecerían otros análisis más localizados. Además, la pérdida de espacios estratégicos no es la única evidencia post-desastre, sino también las consecuencias sanitarias, y en el funcionamiento y desarrollo territorial del DMQ. Con esta óptica de análisis, el estudio detallado de las consecuencias recobra un interés primordial. Se debe considerar

también la mayor recurrencia de incendios en determinados años, marcando picos altos de siniestros como los suscitados en los años 2001 y 2009 (Cuerpo de Bomberos de Quito, 2013) (Ver gráfico 1). A esto se suma la elevada ocurrencia de incendios forestales en 2012, año considerado excepcional no solo por la cantidad e intensidad de los incendios suscitados sino también por nivel el de consecuencias y daños provocados.



Fuente: Estadísticas CBDMQ, Plan de prevención y respuesta para incendios forestales 2012

El número de incendios registrados en 2012 es similar al de los siniestros de 2001. Solo el área quemada por los incendios de 2012 equivale a alrededor del 46% del área total afectada durante el periodo 2001-2011. Esto quiere decir que los incendios de 2012 constituyen casi la mitad del total de eventos registrados en un periodo de 11 años, convirtiendo al 2012 en el año de mayor impacto en cuanto a incendios forestales en el DMQ<sup>22</sup>.

Frente a esta problemática es necesario contar con otro tipo de herramientas que coadyuven a las políticas de reducción de incendios de forestales. El conocimiento de las zonas de mayor susceptibilidad no es suficiente para generar acciones correctivas, ya que permite conocer solo las propiedades de inflamabilidad de la cobertura vegetal y su expansión, pero no otros factores relacionados con la influencia de las actividades antrópicas y del clima. Por ello, un nuevo estudio de riesgos que vincule de forma integral estas dimensiones en la génesis y

<sup>22</sup> En el año 2012 se registran alrededor de 1073 incendios afectando entre propiedad pública y una gran cantidad de vegetación natural importante para los ecosistemas y el bienestar de la población. Entre la vegetación más comúnmente afectada están pastizales, arbustos húmedos y secos y bosques húmedos (SA-MDMQ-2012).

desarrollo del incendio podría mejorar las acciones y planes de la municipalidad en materia de prevención y respuesta.

El estudio de los incendios forestales: importancia de su comprensión en el marco del cambio climático Una temática cada vez más preocupante a nivel mundial es la relación del cambio climático con los incendios forestales. Los incendios recurrentes en la región mediterránea europea propiciaron muchos debates en torno a las variaciones climáticas y su influencia en la generación de incendios. Esto se debe a la constatación de las extremas temporadas de verano con días más secos y de elevada temperatura que afectan a la vegetación<sup>23</sup>. En otras partes del mundo como en Canadá las quemaduras son cada vez más frecuentes y de mayor intensidad, sobre todo en los bosques de la región boreal del Oeste.

Las interrogantes surgen cuando se reportan temporadas de alta sequedad y temperaturas más elevadas como eventos extraordinarios (denominadas olas de calor), condiciones marcadas en cada época estacionaria que podrían aumentar los riesgos de incendios. Estos cambios de temperatura pueden, además, contribuir a la mortalidad de los árboles, reducir la resiliencia de las regiones madereras a eventos climáticos como la sequedad, y generar factores de propagación de incendios.

Por ejemplo, los bosques del oeste del Canadá han sufrido condiciones de sequedad récord últimamente. En el período 2001-2003 y en el año 2009 los episodios de sequía han causado una mortalidad y degradación forestal importantes, tendencias que han continuado con el marcado descenso de la productividad forestal (Chan Randy, 2012)<sup>24</sup>. A todo esto se suma la fuerte presión existente entre espacios antropizados con espacios naturales que generan otro factor de amenaza que podría incidir en la iniciación de los incendios. En efecto, el territorio analizado como un espacio elemental conlleva un sinnúmero de equipamientos, obras e infraestructura en expansión. La mancha urbana es un fenómeno mundial que marca un

---

<sup>23</sup> Cada año se estima que suceden cerca de 50000 incendios que recorren de 700000 a 1000000 de hectáreas de monte, produciendo causando elevados daños económicos y ecológicos e incluso la pérdida de vidas humanas, (FAO, Departamento de Montes 1990), e Esta tendencia ha aumentado especialmente en Grecia donde ha pasado de 12000 has afectadas a en los años 70 a 39000 en el 2011, en. En la esta misma situación esta se encuentra Italia de 43000 a 118000, Marruecos, España y la ex Yugoslavia (FAO, 2012)

<sup>24</sup> Ponencia recogida como estudios de caso dentro del seminario "Prosperité Climatique, rapport Nro 5" a cargo de instituciones canadienses como TRN (table ronde Nationale sur L'environnement et l'economie) UNE Initiative Canadienne, 2012.

cambio de uso de suelo y la incorporación de hábitos culturales muchas veces iniciadores de incendios.

Frente a esta problemática mundial, el Ecuador también reporta algunas estadísticas de incendios suscitados, aunque de forma muy dispersa. Por ejemplo, el informe de Evaluación de incendios forestales realizado en 2012 por la SA revela que el sur del país, y en particular Loja, ha sido afectado por un gran número de incendios. Desde 1981 hasta 1992 “(...) Loja registra 614 incendios, afectando una superficie de 10. 597,85 hectáreas, seguido de la provincia de Pichincha con 315 incendios y una superficie afectada de 1.235,39 hectáreas. En el año 2000, la provincia de Loja registró 85 incendios que afectaron 4.884,49 ha.; en tanto que para el año 2001 la Unidad Operativa de Prevención y Control del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Quito reportó 892 incendios, afectando una superficie de 1.077 hectáreas” (SA, 2012). Es decir que la cantidad de incendios aumentó significativamente especialmente en Pichincha. La mayor cantidad de siniestros registrados en Pichincha coincide con un año excepcional de sequía y temperaturas altas durante los meses de julio a noviembre.

Otro año excepcional de mayor temperatura y sequía fue 2012, cuando Carchi y Pichincha fueron las provincias más afectadas a nivel nacional. Ambas provincias localizadas al norte del país registraron alrededor del 50% del área quemada a nivel nacional. Al ser parte de la provincia de Pichincha y presentar una extensa cobertura vegetal, el DMQ no es la excepción. En 2012 el DMQ soportó temperaturas extremas y sequía, factores que provocaron una mayor propagación y duración de los incendios con consecuencias muy destructivas.

Con estos antecedentes, el presente estudio hace hincapié en la comprensión de la dinámica de los incendios considerando variables antrópicas y climáticas.

#### EL PROCESO METODOLÓGICO PARA LA ELABORACIÓN DE LOS INCENDIOS FORESTALES

Actualmente el DMQ cuenta con una herramienta para medir la susceptibilidad a incendios forestales. No obstante, este insumo no puede ser considerado un *mapa de amenaza de incendios forestales* sino de vulnerabilidad (susceptibilidad) de la vegetación del DMQ a sufrir incendios por factores intrínsecos y de localización. Para complementar este esfuerzo y en procura de generar una herramienta de ayuda a la planificación preventiva, se confeccionó un mapa de *riesgos o peligros potenciales de incendios forestales*, que proporciona información sobre las zonas de presión antrópica o de iniciación del fuego y de propagación de los incendios, tomando en cuenta variables climáticas. Para este efecto, es necesario generar varios indicadores que ayuden a medir o estimar el fenómeno iniciación/propagación de los incendios cuyo uso pueda ser replicado por los sectores relacionados con la gestión de riesgos en el Distrito.

5.2 Etapa1: Proceso de construcción social del conocimiento La SA y la Dirección de Riesgos (perteneciente a la Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad del MDMQ) requieren una herramienta para mejorar el conocimiento del comportamiento de los incendios en el Distrito y de esta forma priorizar las zonas donde se requiere reforzar las capacidades preventivas y operativas por parte de las entidades correspondientes.

## 27. 6.3 ETAPA 2: DEFINICIÓN DE LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Este insumo fue generado a partir de las siguientes preguntas y criterios socializados con los actores mencionados:

<b>Preguntas destinadas</b>	<b>Descripción</b>	<b>Variables disponibles/necesarias</b>	<b>Estudio esperado</b>
<b>¿Cuáles son las zonas de mayor propagación del fuego?</b>	Comprensión de la extensión y prolongación del fuego. Es un factor agravante del incendio	Promedio anual de temperatura y precipitación de los años 1960-2012 de los meses de junio-septiembre	Identificación espacial de las zonas de propagación
<b>Cómo se relacionan las acciones antrópicas en la generación de los incendios</b>	Comprensión de las zonas donde existe mayor presión e influencia antrópica hacia las zonas de incendios ocurridos.	Proximidad de asentamientos humanos a incendios ocurridos  Tipos de cultivo que producen quemas  Tipos de vías de acceso y proximidad a lugares de incendios  Recurrencia de incendios	Análisis de la recurrencia de incendios en función de la influencia antropogénica
<b>Cuál es el efecto de la variabilidad</b>	Simulación de escenarios futuros de incendios	Promedio anual de meses de junio a septiembre de	Análisis espacial comparativo proyectada a

climática en el aumento de los incendios?	forestales para la planificación preventiva y acciones de adaptación frente al cambio climático	temperatura y precipitación proyectada al 2050 bajo condiciones extremas de temperatura	determinar si existirá aumento de incendio o no en condiciones extremas
---	---	---	---

Tabla 26 Preguntas guía de la investigación para incendios forestales

Estas preguntas fueron validadas en reuniones técnicas s con los actores pertenecientes al “sector riesgo”. Con el uso de las HCP (Herramientas de conocimiento participativo)<sup>25</sup> se generó una “matriz necesaria” e indispensable para la construcción de conocimiento participativo.

### 28.6.4 ETAPA3: VARIABLES DE VULNERABILIDAD (AMENAZAS, EXPOSICIÓN Y SENSIBILIDAD)

Mientras existan zonas de propagación, zonas propensas a incendios y elementos expuestos existe un riesgo potencial, lo que muchos autores denominan también peligros de los incendios forestales hacia zonas vulnerables. Para que se produzca un incendio se requiere un punto de iniciación de fuego o de ignición.

En los incendios forestales el “riesgo y el peligro” a menudo aluden a la misma cosa. Además el concepto de riesgo de incendios se utiliza para referirse a zonas expuestas (personas, infraestructura, ecosistemas) o para determinar la probabilidad del incendio o su capacidad de propagación (peligro). En este caso, el producto obtenido de este modelo se referirá a peligros o riesgos de incendios forestales, pues alude tanto a criterios de propagación como de “iniciación” del fuego.

En la realización del mapa de riesgos de incendios forestales se consideró como referencia la metodología propuesta por el Grupo Salamandra compuesto por actores responsables y científicos en materia de protección contra los incendios forestales de España y Los Pirineos franceses<sup>26</sup>. El *esquema 1* muestra el proceso global para la estimación del mapa de peligros relacionados con incendios forestales en el DMQ.

---

<sup>25</sup> Mas referencia mirar el WP2 y Wp3 relacionados con los lineamientos metodológicos del proyecto.

<sup>26</sup>

Trabajo realizado por Jean Francois Galtie Geode-UMR5602 CNRS, Université de Toulouse 2 y Serge Peyre, Sindicato de Propietarios Forestales y Silvicultores de los Pirineos. Trabajo denominado “Contribución Metodológica al Diagnóstico, la Divulgación y el

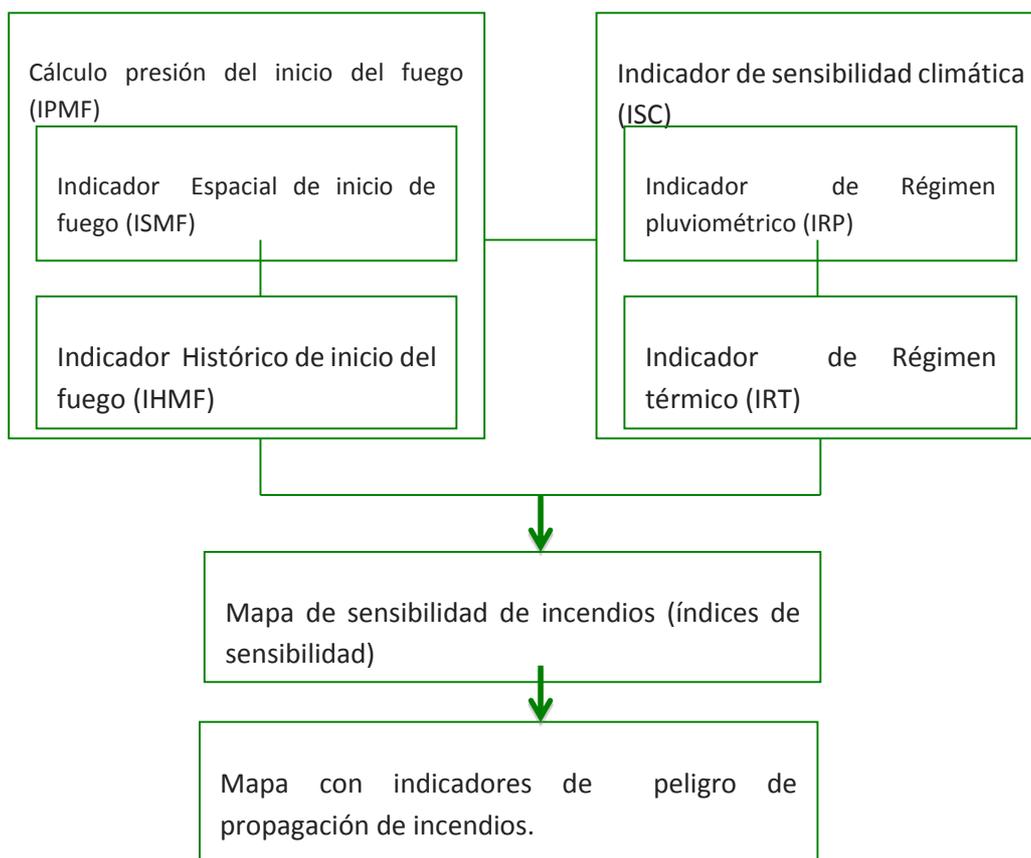


Figura 56 Proceso de construcción del modelos de riesgos de incendios forestales

Fuente: Jairo Estacio SEI, 2014

#### ESTIMACIÓN DE LOS CRITERIOS E INDICADORES PARA EL MODELO DE INCENDIOS.

Para el desarrollo del modelo de peligro de incendios forestales en Quito se adaptó una metodología de incendios del mediterráneo europeo, considerado a una escala local y con condiciones de clima diferentes. Estos ajustes han sido corroborados por expertos del Municipio en cuanto al conocimiento de los incendios, el clima y la vegetación en el territorio. Igualmente, se adaptó la información disponible para el cálculo de indicadores en el modelo, siempre y cuando éstos garanticen resultados confiables y ajustados coherentemente a la realidad del DMQ.

---

Tratamiento del Riesgo Socioeconómico de Incendios de la Vegetación en la Región Mediterránea”, enero, 2003, Grupo Salamandra Nro. 42.

Generar un “modelo” siempre genera algún grado de incertidumbre, y ninguna metodología de cálculo es una receta única que permite llegar al 100% de la verdad en sus resultados. Es decir, se pueden aplicar siempre nuevos enfoques y formas de determinar los incendios y cada uno podría aportar resultados diferentes. Por ello este modelo es perfectible y puede ser mejorado con nueva información y enfoques complementarios.. Su valor principal radica en constituir un primer insumo de conocimiento a la escala Distrital y un gran aporte para la gestión de riesgos de incendios forestales en el DMQ.

Como se describió en *el esquema 1*, se han elaborado algunos indicadores que se explican a continuación:

#### **CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE INICIO DEL FUEGO (IPMF)**

Este cálculo permite identificar los puntos o zonas que contenidamente ejercen presión antrópica y por ende zonas potenciales de iniciación de fuego. Se trata de identificar la influencia de los lugares donde existen actividades antrópicas hacia los sitios de recurrencia de incendios. Para ello, se determina la sensibilidad del contorno de una zona o segmento determinado como “inicio potencial” de los incendios. La determinación de este cálculo necesita:

**Un indicador espacial de inicio de fuego (ISMF):** Se trata de entender la presión e influencia que ejercen las actividades antrópicas en las zonas donde se han constatado incendios a lo largo del tiempo. En la siguiente tabla se describen los espacios antrópicos seleccionados para este cálculo (*ver anexo 1* cartográfico de mapas base considerados para este tratamiento):

Espacios antrópicos considerados	Variables espaciales	Explicación
Asentamientos Humanos y poblados	Evolución de la mancha urbana 2012 PUOS (Zonas de usos y ocupación de suelo) 2013	La presencia de asentamientos humanos y poblados cerca de incendios suscitados muestra una influencia antrópica por las actividades que se generan y que podría ejercer puntos de ignición
Redes viales	Vías principales transitadas (primero y segundo orden) Caminos y senderos de montaña	La presencia de movilidad humana en las vías de proximidad y acceso a zonas donde han ocurrido incendios ejerce un principio de presión y potencial iniciación de fuego
Cultivos	Zonas de cultivo de preferencia maíz y de ciclos corto	Las prácticas tradicionales relacionadas con la quema de residuos de los cultivos constituyen un factor crítico en la iniciación de incendios.

Tabla 27 Espacios antrópicos considerados como de presión e influencia a incendios

Fuente: Equipo SEI, SA-MDMQ, adaptado metodología grupo Salamanca, 2012

El cálculo de la influencia se basa en la proximidad entre los diferentes elementos que representan una actividad antrópica con las zonas de incendios recurrentes.

Para este cálculo se ha considerado una franja de amortiguamiento alrededor de los sitios donde existe actividad antrópica. Los criterios para delimitar estas zonas son los siguientes:

- Las franja de protección de las zonas habitables y de actividades humanas a los incendios forestales: Para incendios puntuales a escala local, la franja considerada máxima oscila entre 100 y 200m (en este estudio considerada de 200m). Estas franjas de amortiguamiento obedecen a criterios aceptados mundialmente por motivos técnicos. Se considera que en zonas de 200 m existen posibilidades de confinamiento y/o

autoprotección<sup>27</sup>. En cambio, una zona crítica es considerada de 0 a 50 m donde existe peligro de elevada propagación y radiación térmica.

- Las franjas de protección de los recursos naturales y forestales. Si bien en el país no se define con exactitud las zonas permisibles para actividades antrópicas desde las áreas protegidas o forestales, la Ley Sectorial de Áreas del Ministerio del Ambiente establece en sus artículos relacionados a *paisajes protegidos* una distancia aproximada de 250 m de retiro para carreteras y cotas de 200 m para centros poblados. A partir de estas distancias se estimaría que se ejerce una presión en los recursos naturales protegidos establecidos. En la bibliografía internacional, como el estudio de Salamanca, se estima que en estas distancias pueden generarse desbrozos reglamentarios ampliados y en distancias de 50 m desbrozos obligatorios.

Para efectos de este estudio se ha considerado el umbral de amortiguamiento máximo de 200m. Esto significa que en zonas menores de 200m no se deberían desarrollar actividades antrópicas, pues son consideradas zonas de protección. Bajo otra perspectiva, el desarrollo de actividades antrópicas en estas zonas puede ejercer una presión en la vegetación y zonas forestales y ocasionar daños como por ejemplo puntos de ignición de incendios.

Para el cálculo de las zonas de presión o de “iniciación del fuego”, en Tabla 29 se detallan las distancias de los lugares de actividad antrópica con las zonas de recurrencia de incendios. Estas zonas son determinantes para la presión antropogénica y están dadas por la proximidad de vías de comunicación, zonas de actividad agrícola y lugares habitados. Los espacios críticos se representan mediante *fajas de presión*<sup>28</sup>.

---

<sup>27</sup> Es difícil expresar (delimitar) zonas de protección debido a la diversidad y el tamaño de la vegetación y las condiciones predictivas locales (régimen de turbulencia, incendios secundarios, etc.). Normalmente se estima de forma determinista las distancias considerando límites máximos de seguridad. Para el flujo de energía térmica es suficiente determinar distancias de entre 100 y 200 m. son suficientes. No obstante, para pavesas dispersas por acciones del viento, al la experiencia indica que pueden realizarse delimitarse zonas en orden de kilómetros. (López Z (2004), *Estudio de características físicas y geométricas de la llama de los incendios forestales*, Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Cataluña, Dto, de Ingeniería Química)

<sup>28</sup> Los estudios sobre la relación actividad antrópica/incendios, son empíricos y están basados en experiencias espaciales sobre su ocurrencia. Por ejemplo, en el caso de los Pirineos e incendios del Mediterráneo, de 766 incendios registrados entre en el periodo 1992 y- 1999, se menciona que al menos 75% se declaran entre 15 y 50 metros de una vía transitable y a más de 50 metros de un lugar

ISMF	Recurrencia de incendios	Fajas de presión
Distancia de referencia a las vías o centros poblados) (m) a lugares de incendios	(número de incendios producidos por sitio en los años 1991, 1998, 2001, 2009, 2012.2013)	(m)
0-15	1	70
	2	80
	3	90
	Mayor a 4	100
15-50	1	40
	2	50
	3	60
	Mayor a 4	70
50-100	1	10
	2	20
	3	30
	Mayor a 4	40
100-200	1	7
	2	8
	3	9
	Mayor a 4	10
Mas de 200	Cualquier incendio ocurrido	Menor a 7

Tabla 28 Estimación de zonas de presión de incendios en el DMQ.

Fuente: Equipo SEI, 2014 adaptado de metodología Grupo Salamanca.

Para el cálculo de las fajas de presión se realizó un análisis espacial relacionando los lugares donde existe un nivel de recurrencia de incendios con las distancias próximas a los lugares de actividad antrópica (centros poblados, vías y cultivos de ciclo corto proclives a quemas), dentro de una zona de amortiguamiento de 200 m establecido como umbral de protección. Mientras más alta es la recurrencia de incendios en un lugar determinado (mayor a 4 incendios por ejemplo) y menores son las distancias hasta los sitios con actividades humanas, más alta

---

habitado. Esta referencia y otras relacionadas con las distancias son considerados criterios importantes para este cálculo. Estadísticas similares son mencionadas en los incendios de reportados en la zona boreal de Canadá.

es la influencia y la presión antropogénica, y por tanto las fajas de presión son elevadas (el máximo es de 100 m). Al contrario, mientras menor es la recurrencia en un lugar (un solo incendio por ejemplo) y mayores son las distancias a los sitios de actividad humana, la faja de presión disminuye.

Para el caso del DMQ se estudiaron los incendios ocurridos en 6 periodos claves (1991, 1998, 2001, 2009, 2012, 2013) y de los cuales hay registros, a partir de un modelamiento espacio-temporal de ocurrencia de incendios. ver anexo 2). Se ha contabilizado por zonas la recurrencia de incendios forestales en el período, y sobre el total de recurrencia por zona se ha realizado un análisis espacial observando la distancia de influencia de los elementos antrópicos ya mencionados.

Por ejemplo, en un zona identificada con actividad antrópica “A” (digamos un asentamiento humano) se estableció que a una distancia de 13 metros existió aproximadamente una recurrencia de 5 incendios en el periodo 1991- 2013. Por lo tanto, existe elevada presión antrópica hacia las zonas incendiadas. Para este caso, observando el cuadro precedente, se ha establecido un valor de presión de 100 m, lo que quiere decir que existe una elevada influencia y por ende una “iniciación potencial” de incendios.

Por otro lado, si en un asentamiento humano “B” se ha establecido una recurrencia de 2 incendios en el periodo 1991-2013 a una distancia de 70 m, la presión antrópica o de “iniciación de fuego” presentaría una tendencia baja (franja de presión de 20 m). En otras palabras, mientras las zonas pobladas, vías transitadas y actividades agrícolas (relacionadas con quemas) presenten valores de presión elevados, mayor es la recurrencia y su influencia en los eventos registrados.

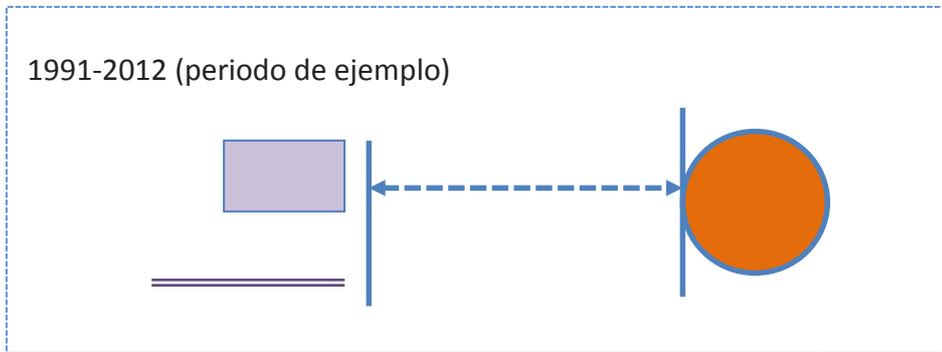
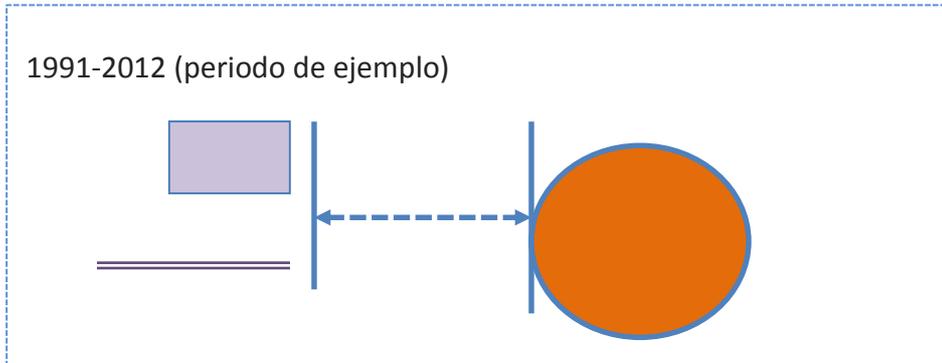


Figura 57 Representación de las distancias de presión de actividades antrópicas con incendios ocurridos

Fuente y realización Equipo SEI 2014

El resultado de los cálculos de las zonas de presión para el DMQ, puede apreciarse en los siguientes mapas:

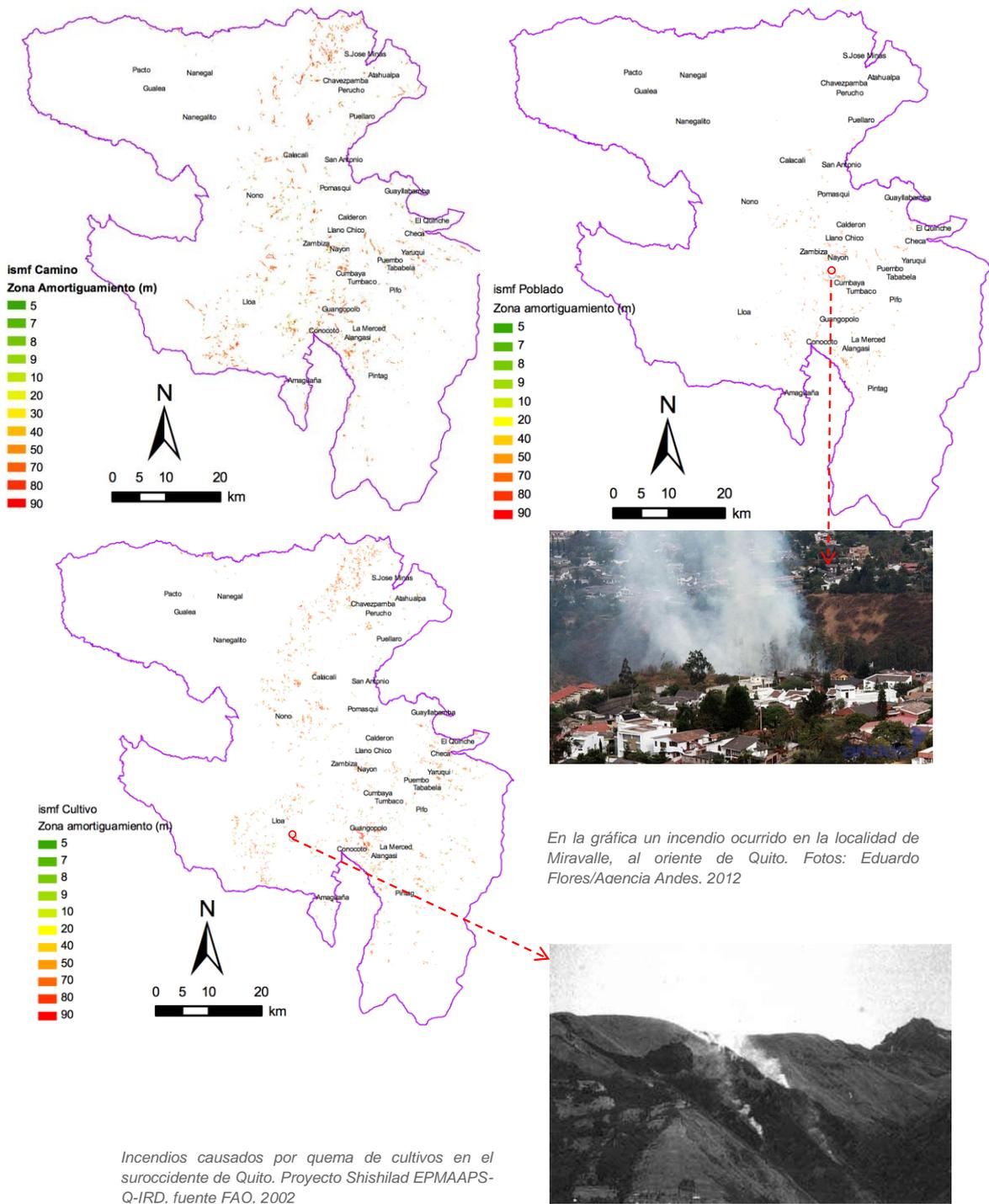


Figura 58 Resultados cartográficos del cálculo de incendios ISMF para cada variable de actividad antrópica.

El “Indicador espacial de inicio del Fuego” (ISMF) se cruzará con otros, como por ejemplo el Indicador histórico de inicio de fuego (IHMF) para obtener un modelamiento preciso con la presión de inicio de fuego.

**El indicador histórico de inicio de fuego (IHMF):** Este indicador considera, más que el número de eventos ocurridos, la superficie de los mismos. Mientras más elevada es el área de los siniestros mayor es su nivel de gravedad y consecuencias.

Con esta información se ha realizado el Cálculo de Presión de Inicio del Fuego (IPMF), relacionando los datos obtenidos ISMF (fajas de presión establecidos por rangos) con los valores IHMF, medidos a partir de la ocurrencia de incendios por hectáreas. Según los reglamentos del MDMQ y Cuerpo de Bomberos los incendios forestales deben abarcar una superficie mínima de 0,5 has para ser considerados como tales. Para el caso del DMQ el cálculo se realizará a partir del histórico de incendios del período 1991 - 2013.

A continuación se puede observar el criterio asociativo de los dos indicadores (ISMF e IHMF) y su ponderación estimada de acuerdo a la relación entre *rango de presión-superficie quemada recurrente*. Esto quiere decir que mientras mayor es el indicador espacial de inicio de fuego (medido a través de mayor faja de presión) y su relación con grandes superficies quemadas (medidos en Has), mayor es la presión antropogénica potencial de inicio de fuego (IPMF).

La pregunta que guía este análisis busca conocer la gravedad de las zonas de presión antrópica a partir de criterios de influencia/recurrencia/consecuencias ocurridas.

Tabla 29 Cálculo de Presión de Inicio de Fuego IPMF

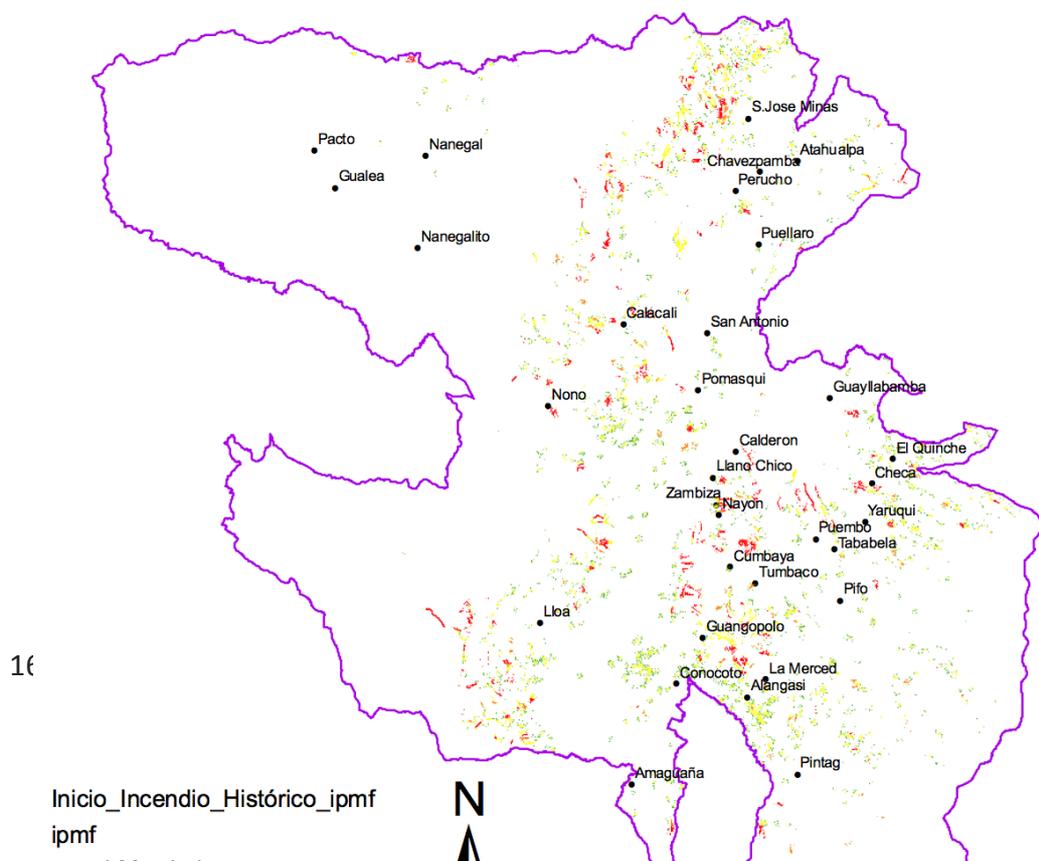
ISMF (rangos de presión, m)	Registro histórico de incendios (ha) (IHMF)				
	0,5-2	2-5	5-10	10-20	Mayor a 20
Menor a 7	1	1	2	3	3
7-10	1	1	2	3	4
10-40	1	2	3	4	5
40-70	2	3	4	5	5

70-100

3	3	4	5	5
---	---	---	---	---

La aplicación de este modelo, da como resultado un mapa de niveles de *presión antrópica* sobre las *áreas de incendios forestales recurrentes*. En la Tabla 30 se califica de 1 al menor grado de presión y 5 al mayor grado de presión. Por ejemplo, si se considera el ejemplo del *esquema 2*, para un lugar donde se realizan actividades antrópicas (A) cuya faja de presión es de 100m relacionada con áreas de incendio ocurridas mayores a 20 has, sus niveles de presión y gravedad son elevados (5).

El mapa siguiente refleja el resultado obtenido:



## ESCENARIOS PARA EL CÁLCULO DE UN INDICADOR DE SENSIBILIDAD CLIMÁTICA (ISC): FACTOR DE PROPAGACIÓN

### LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA CONSIDERADA PARA LA PROPAGACIÓN DE INCENDIOS:

Este cálculo determina la influencia del clima en las zonas de presión antrópica de fuego y de recurrencia de incendios, a fin de definir las zonas de propagación de los incendios forestales. No se trata de un análisis exhaustivo, pues en algunos modelamientos y bibliografía técnica sobre el tema se mencionan a “los días secos consecutivos” como un factor climático importante en la propagación de incendios. No obstante, al no existir esta información a una escala Distrital, se han escogido las variables de la precipitación y de temperatura en los meses de verano (junio, agosto septiembre) en el Distrito. Al respecto, los datos del Climdex (Climate Extremes Indices) para el DMQ ofrecen datos de Escenarios de Cambio Climático, pero con limitaciones para su uso<sup>29</sup> y la ausencia de sin indicadores específicos para este ejercicio.

---

<sup>29</sup> Se ha utilizado Modelo Japonés TL959 y modelos por el CRU (Climate Research Unit) de la Universidad de East Anglia de Reino Unido.. El periodo de control estudiado está comprendido entre enero de 1979 y diciembre del 2000 para el caso de precipitación, y entre enero de 1979 y diciembre del 2002 para el caso de temperatura. No obstante, existen limitaciones pues aun no se ofrece una resolución lo suficientemente buena para reconocer los distintos microclimas del DMQ. Por otra parte, el modelo no considera adecuadamente la variabilidad climática natural, toda vez que se ha suscrito la evolución de la temperatura de la superficie del mar, de

Los datos climáticos considerados para este análisis corresponden al modelo climático a partir de los modelos globales- WorldClim, (GCMs Climate Model Intercomparison)<sup>30</sup>. Este modelo presenta los datos de precipitación y de temperatura considerados para los meses de junio, agosto y septiembre para en el periodo 1960-2012, y de una proyección climática del período 2010- 2050 para observar las tendencias de propagación a futuro<sup>31</sup>.

#### EL CÁLCULO DEL INDICADOR DE SENSIBILIDAD CLIMÁTICA

Si bien en la propagación de un incendio intervienen varios factores como la topografía y la combustibilidad de la vegetación, la temperatura tiene un rol importante. Según aumenta la temperatura, la combustibilidad es mayor, debido a que el combustible forestal se seca rápidamente, favoreciendo su ignición y activando su posterior combustión. Al contrario, la precipitación ayuda al incremento de la humedad del suelo y del aire lo que provoca una menor velocidad de propagación de los incendios forestales.

El Indicador de sensibilidad está compuesto por:

**Un indicador de Régimen Pluviométrico (IRP)** definido a partir de datos de precipitación media anual en los meses de julio-septiembre de los últimos 52 años, aproximadamente.

**Un indicador de Régimen de Térmico (IRT)** definido a partir de los datos de temperaturas medias anuales de los mismos meses en los últimos 52 años, aproximadamente.

Se han evaluado los meses de julio, agosto y septiembre (JAS) -por ser la época de verano y la de mayor recurrencia de incendios forestales en el DMQ- y los registros climáticos de

---

modo que se trata de un experimento numérico con importante énfasis en el forzamiento por gases de efecto invernadero (escenario A1B [22])”.

<sup>30</sup> Para el caso específico del DMQ se ha establecido el CMIP5 (coupled model Intercomparison Project) incluidos en los datos de América del Sur. Una de las salidas de este modelo permite la simulación del clima para adaptarse al forcejeo climático, tales como el dióxido de carbono atmosférico.

<sup>31</sup> Los diferentes modelos climáticos corridos del *world clim*, recogen 4 modelos globales con 1Km de resolución para el cálculo de la temperatura y precipitación media anual y mensual. Con estos datos se han realizado calculado valores históricos con promedios desde el 1960 a 1990 y se han interpolado nueva información de estaciones meteorológicas del DMQ e INAMHI a estimaciones hasta el año 2010. Con los datos de los 4 modelos corregidos se realizó una proyección del clima al 2050 en situaciones extremas de aumento de CO<sub>2</sub>. (alto escenario de carbón atmosférico RCP 8,5).

temperatura y precipitación de últimos 52 años con el objetivo de observar las tendencias de mayor temperatura y humedad y su relación con la ocurrencia de incendios forestales. Por ejemplo, se reconocen años excepcionales por la severidad de los incendios, como el año 2012<sup>32</sup>. Sin duda que esta aproximación podría ser mejorada ajustando más información de registros de incendios anteriores a la década de los 90's, periodos que lastimosamente no cuentan con registros fiables e información contrastable.

Los datos obtenidos fueron cruzados con la información pluviométrica y térmica total de las medias anuales, tal como se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 30 Estimación del indicador de Sensibilidad Climática para el DMQ\*

IRP (mm)	IRT (C)				
	Menor a 8	8-10	10-12	12-14	Mayor a 14
Mayor 100	1	1	2	3	3
75-100	1	1	2	3	4
50-75	2	2	3	4	5
25-50	2	3	4	4	5
Menor a 25	3	3	4	5	5

\*Los criterios de este cuadro se aplicarán por cada año y al final se hará una sola matriz promedio de los 52 años.

La sensibilidad climática a los incendios forestales se mide en niveles de 1 a 5. El nivel 1 significa que las condiciones climáticas son muy bajas para un nivel de propagación de fuego (condiciones de bajas temperaturas con mayor precipitación registrada) debido a las tendencias de humedad con temperaturas bajas. Al contrario, el nivel 5 hace referencia a condiciones climáticas favorables para un nivel de propagación elevado (altas temperaturas con poca precipitación), sobre todo en épocas de calor y sequía. Aplicando cada escenario se obtuvo la siguiente cartografía que se expone a continuación:

---

<sup>32</sup> Estas tendencias de humedad/sequedad también afectan la sensibilidad de la cobertura forestal. Muchas especies mueren y producen mayor cantidad de biomasa, considerado un factor de sensibilidad a los incendios forestales.

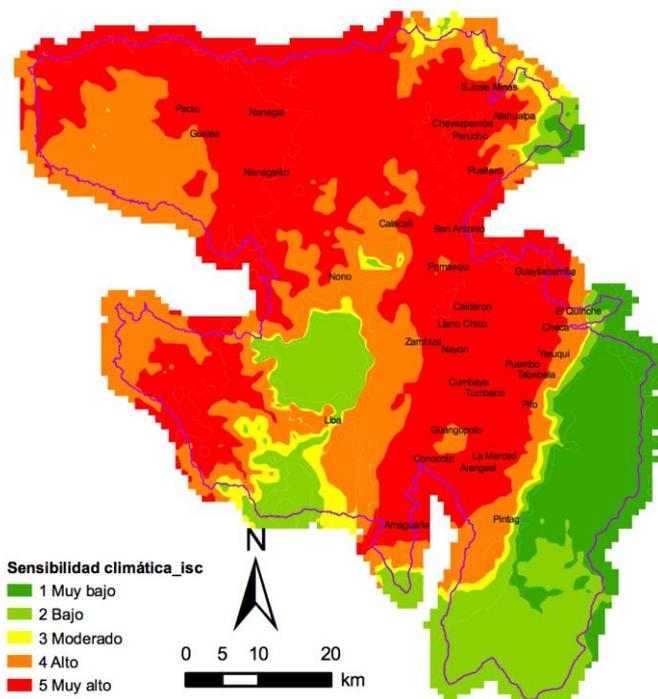
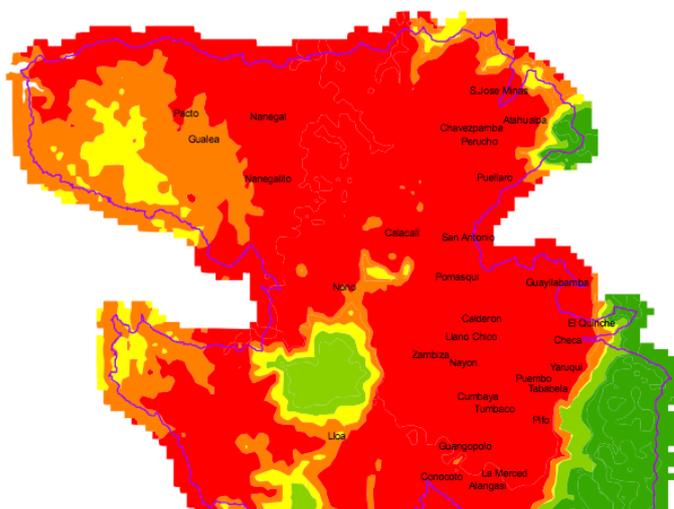


Figura 61 Sensibilidad climática para el DMQ considerando los últimos 52 años bajo condiciones de variación climática observadas en los años 1960 y 2012.



## ESCENARIO DE PELIGRO DE INCENDIOS FORESTALES EN EL DMQ

Para realizar este modelo es necesario considerar dos variables importantes:

- Un cálculo de amenaza de incendio forestal.
- La susceptibilidad de la cobertura vegetal a los incendios forestales.

Ambos indicadores son importantes para el modelamiento espacial a fin de obtener el mapa de peligro/riesgo de incendios forestales (el esquema 3 muestra el proceso cartográfico realizado para alcanzar este resultado). Para este propósito se ha considerado la definición aceptada de riesgo, entendida como la vulnerabilidad estimada por niveles de susceptibilidad de un elemento y la amenaza presentada por niveles de intensidad, como se desarrollará más adelante.

### ESTIMACIÓN DE LA AMENAZA DE INCENDIOS POR PRESIÓN ANTROPOGÉNICA (INICIACIÓN) Y PROPAGACIÓN (AIP).

Esta variable se calcula a partir del cruzamiento de la cartografía obtenida del cálculo de presión de iniciación de fuego y del Indicador de sensibilidad climática (tanto presente como futura). El resultado ayuda a identificar los lugares donde, además de presión antropogénica, existen tendencias elevadas de propagación (ver Esquema 3)

Para este cálculo se ha propuesto la siguiente ecuación:

$$\text{AIP} = \sum 0.40(\text{IPMF}), 060(\text{ISC})$$

Este cálculo conlleva un factor de peso ponderado hacia el índice de sensibilidad como factor desencadenante de la gravedad de los incendios, seguido de un factor de iniciación. El resultado de este análisis constituye el primer mapa que brinda información sobre los factores de amenaza potencial de incendios.

### CÁLCULO MAPA DEL RIESGO DE INCENDIO POR INICIO Y PROPAGACIÓN (RIF)

Este análisis (RIF) se calcula a partir de los índices de *amenaza de incendio por iniciación y propagación (AIP)* y los índices de *susceptibilidad de la cobertura vegetal* proporcionados por la Secretaría del Ambiente en el DMQ.

El riesgo de un incendio está dado por factores de combustibilidad de la vegetación, su localización topográfica, el clima y la influencia antrópica. El mapa de “susceptibilidad de incendios forestales del DMQ” elaborado en 2011 incorpora los factores de combustibilidad y topografía. El mapa de “amenaza” (AIP) considera el clima como factor que ayuda a la propagación y también la influencia antropogénica. Por lo tanto, la relación para este análisis es el siguiente:

RIF: Amenaza iniciación-propagación\*Susceptibilidad de incendios

De este análisis se obtendrá el mapa de peligros/riesgos de incendios forestales del DMQ.

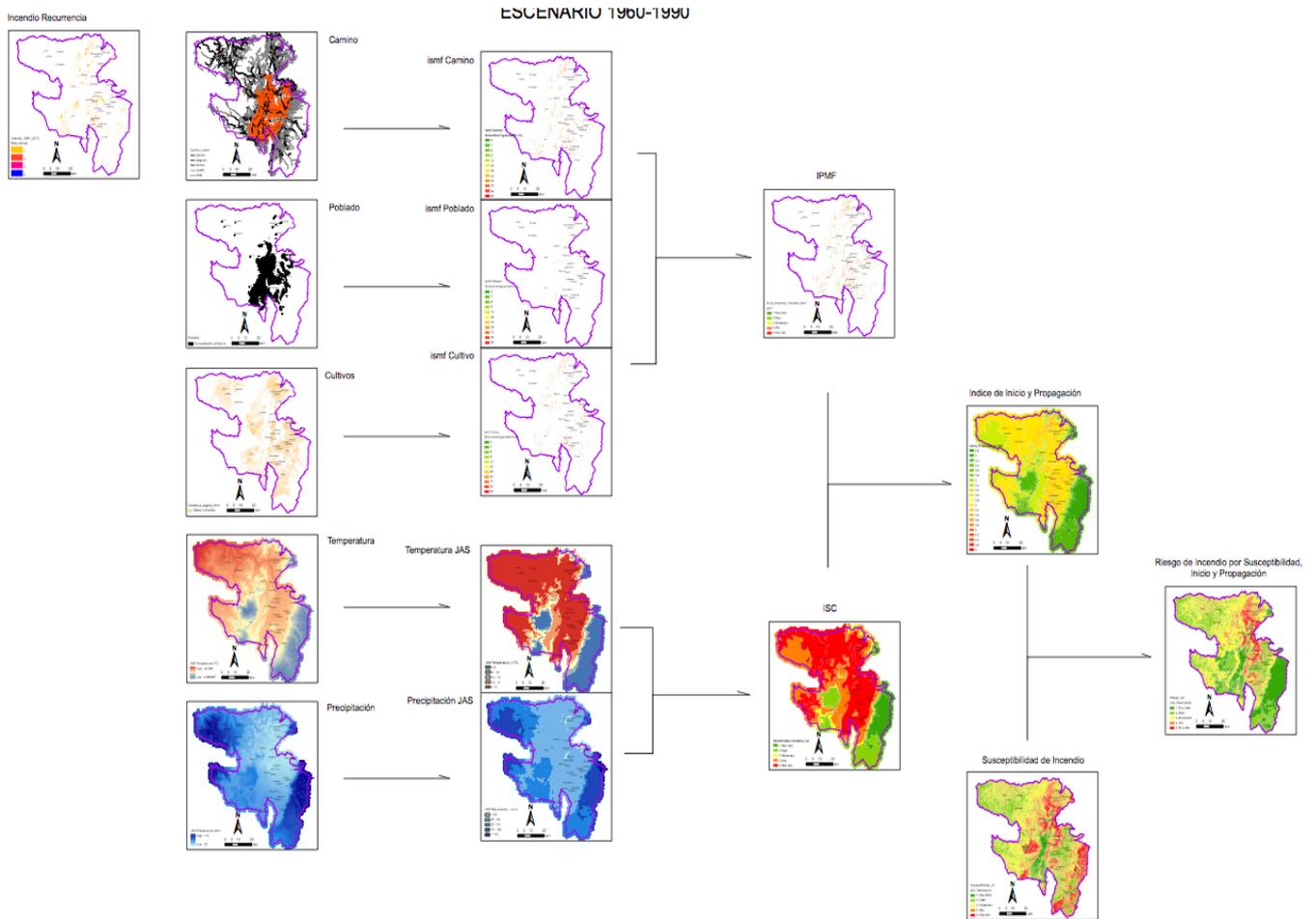


Figura 62 Estructura espacial del análisis de riesgo de incendios forestales del DMQ

## RESULTADOS OBTENIDOS RIESGOS INCENDIOS FORESTALES

Los resultados obtenidos constituyen insumos útiles para varios temas de orden territorial y manejo estratégico en la reducción de riesgos de incendios forestales del DMQ. A continuación se resaltan algunos hallazgos, sobretodo observando:

- Las zonas expuestas a riesgos forestales: situación actual.
- Las tendencias climáticas comparativas de escenarios de propagación de incendios.

Para comprender los riesgos de incendios forestales en el DMQ es necesario observar cómo se encuentran repartidas espacialmente la susceptibilidad a incendios forestales y las amenazas de propagación y de iniciación de incendios.

Gran parte de la vegetación, como pajonales, bosque seco y vegetación paramuna localizados en el suroriente, así como arbustales secos interandinos y bosques bajos y arbustales montanos localizados a lo largo del centro norte del DMQ es propensa a quemarse. La susceptibilidad a incendios forestales del DMQ se detalla en la figura 50.

Al comparar este mapa con las zonas de inicio y propagación actuales (Figura 62) se observa que las tendencias elevadas (a partir de los niveles 3,2 representados como factor de amenaza con tendencias altas en el mapa) se localizan aproximadamente en un 2% del territorio del DMQ. Los mayores factores de amenaza con niveles 4 a 5 se distribuyen en áreas rurales con elevadas temperaturas en verano y poca humedad, así como población dispersa y actividad antrópica relacionada con prácticas culturales de quema y caminos de senderismo. Es el caso de zonas específicas de Cumbayá, Nayón, Zambiza, Llano Chico, Conocoto, Alangasi o Guangopolo, parroquias localizadas en su mayoría al norte y centro del oriente del DMQ.

El resultado del cruce de estos mapas se representa en la figura 63, en el cual resaltan niveles de peligro de incendios en Ilalo, Calacalí, Puellaró, Perucho, Llano Chico, Calderón, Nayón y ciertas zonas muy puntuales de Calacali, Nono y Lloa, entre otras. En estas zonas se da una conjunción de factores de susceptibilidad de incendios, como por ejemplo una fuerte presión antropogénica y elevados factores de iniciación y propagación de incendios.

Estos resultados muestran que el riesgo de incendios se evidencia de manera más elevada en las parroquias del nororiente del DMQ, mientras que si se observa las zonas aledañas del Quito, las zonas del occidente de las faldas del Pichincha resultan afectadas de forma muy puntualizada.

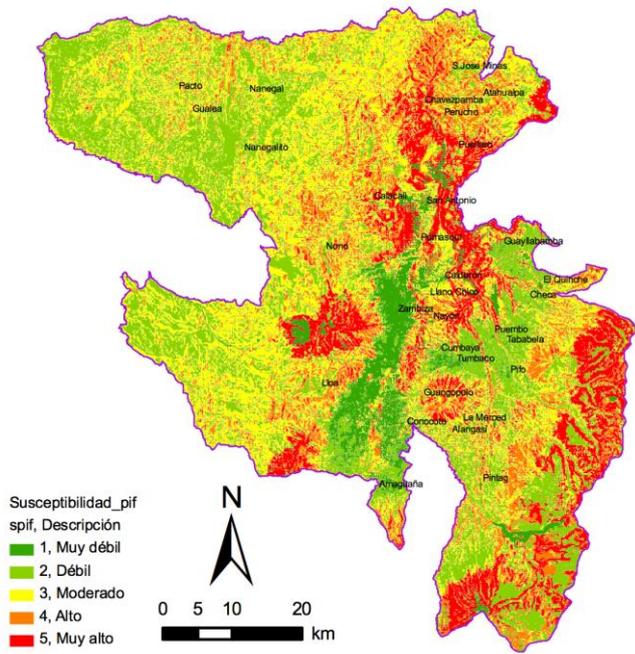


Figura 63 La susceptibilidad de incendios forestales del DMQ

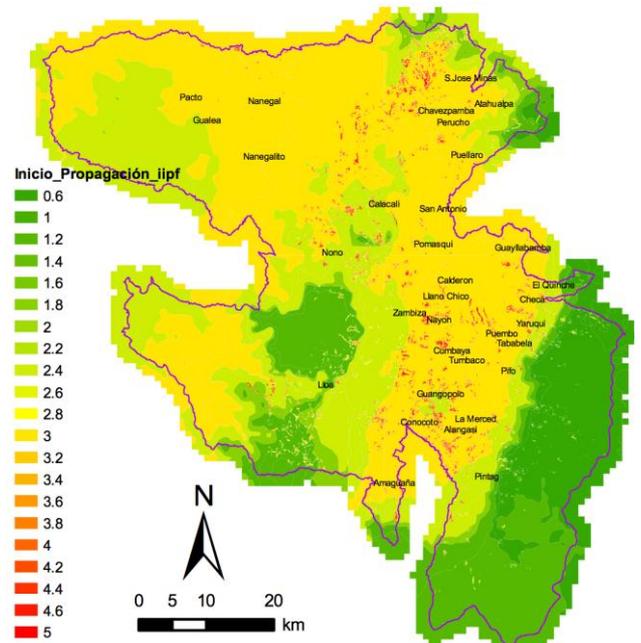


Figura 64 Factores de amenaza de incendios

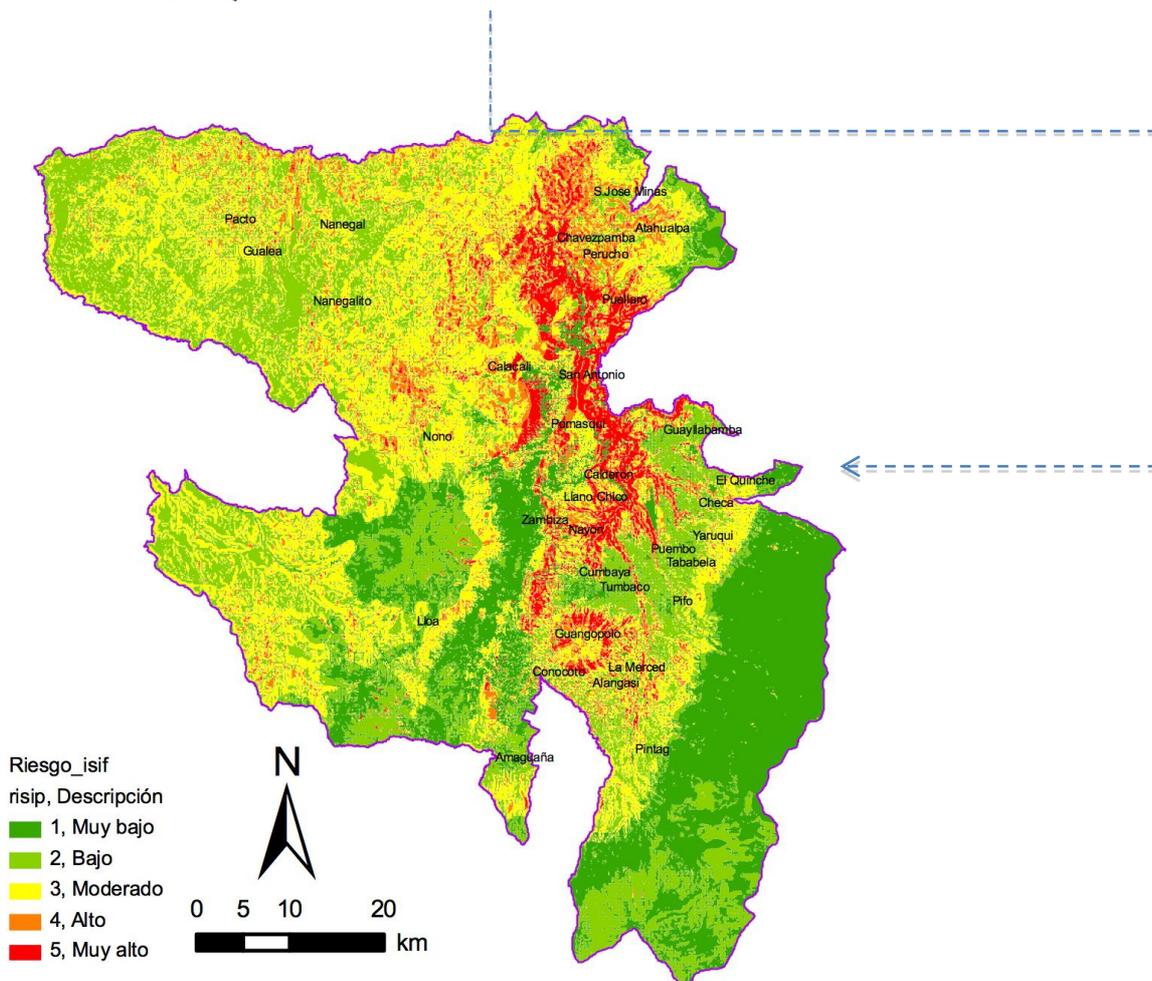


Figura 65 Peligros de incendios forestales del DMQ por factores de susceptibilidad iniciación y propagación.

Uno de los hallazgos del estudio fue obtenido al comparar el mapa de *riesgos de incendios forestales* con el mapa generado por la SA sobre “los niveles de superficie de incendios suscitados en el 2012”, catalogados por la SA y la Dirección de Riesgos del DMQ como severos (Figura 52). Observando las consecuencias generadas de ese año con el mapa de *riesgos de incendios forestales*, se puede remarcar un relacionamiento directo entre los sitios de mayor superficie quemada con las zonas de mayor riesgo (en el mapa 8 son los círculos en rojo que corresponden a las zonas de mayor expansión de incendios). Respecto a la afectación por Administración Zonal, se tiene que las AZs Aeropuerto, Eloy Alfaro, La Delicia y Norcentral fueron las más afectadas, en tanto que por número de incendios las más afectadas fueron a AZ los Chillos con 267 incendios y la AZ Norcentral con 206 siniestros (SA, 2013). Estas mismas zonas son las de mayor riesgo, según la figura 52, exceptuando la zona Eloy Alfaro donde se registraron grandes superficies quemadas en 2012. Aunque el mapa de riesgos de incendios las identifica como áreas de riesgo muy específicas correspondientes a la parroquia de Lloa. En todo caso, esta zona ha sido históricamente la menos afectada por incendios aunque puede experimentar situaciones excepcionales como las evidenciadas en 2012.

En cuanto a pérdidas de la cobertura vegetal, fueron cuantiosos los daños principalmente de pastizales, arbustos secos y húmedos, así como bosques húmedos y cultivos. Esta misma vegetación se encuentra expuesta en zonas de riesgos incluyendo el bosque seco.

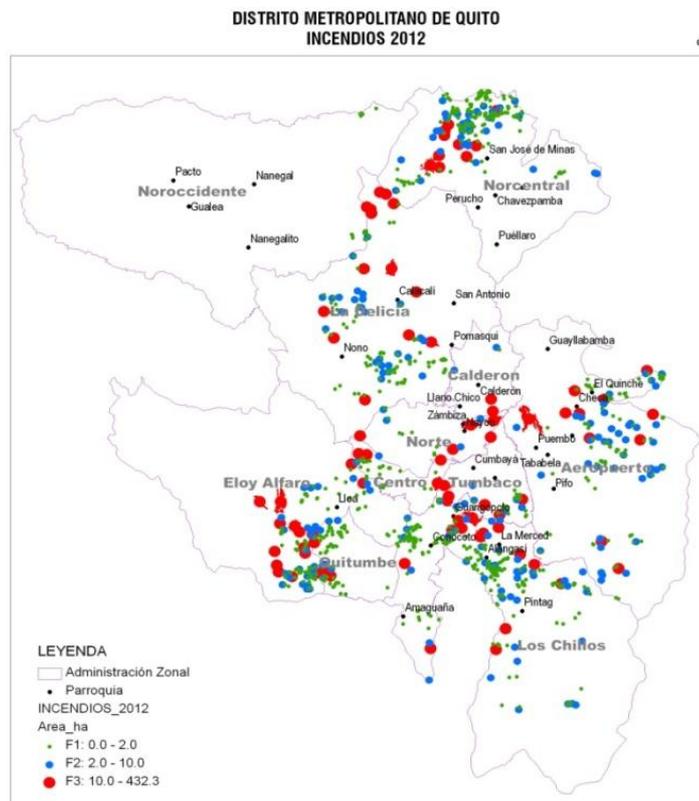


Figura 66 Niveles de superficie afectada en el incendio severo del 2012 en el DMQ

## LAS TENDENCIAS CLIMÁTICAS COMPARATIVAS DE ESCENARIOS DE PROPAGACIÓN DE INCENDIOS.

Una observación comparativa del índice de sensibilidad climática que ejerce un comportamiento en la propagación de incendios en el DMQ (aumento de temperatura y reducción de la precipitación) en el presente y hacia el 2050 (considerando el modelo *World Clim* con una proyección del clima bajo situaciones extremas de aumento de carbón atmosférico RCP 8) evidencia que el índice de sensibilidad climática aumenta de forma significativa en el DMQ (ver figuras 48 y 49). No obstante, este incremento no produce mayor cambio en las formas de propagación de incendios en las zonas rurales; al contrario, este incremento refleja de forma más dramática un aumento de las zonas de propagación en la ciudad de Quito y sus alrededores.

Asimismo, existe un aumento significativo del índice en las zonas de Pintag, Pifo y Tababela, donde actualmente se localizan proyectos de desarrollo del DMQ como el nuevo aeropuerto, vías, proyectos de abastecimiento de agua o zonas residenciales. Esto conlleva a una reflexión sobre un posible incremento de la presión antropogénica, lo que al mismo tiempo aumentaría los niveles de exposición de dichos proyectos y zonas estratégicas a potenciales incendios futuros.

Complementando lo anterior, los mapas de riesgo forestal al presente y al futuro (2050) evidencian nuevamente que las áreas con mayor incremento de riesgo son las zonas aledañas a Quito (laderas del Pichincha, zonas del suroccidente y estribaciones orientales), así como Nono y Lloa. Sin embargo, las zonas de mayor riesgo que en la actualidad se localizan al oriente del DMQ (Ilaló, Conocoto, Zambiza, La Merced...) presentarían un mayor incremento de sus áreas de riesgo, llegando inclusive a zonas cercanas a vegetación paramuna en Pifo y Yaruqui por citar un ejemplo. Cabe recalcar que este mapa solo ha considerado la variabilidad climática como un factor de gravedad para la propagación de los incendios, y no las proyecciones del crecimiento de la mancha urbana a futuro y la dinámica de la actividad antropogénica como factores de presión de incendios, que sin duda podrían modificar de forma sustantiva los resultados de riesgo al 2050, generando posiblemente zonas de riesgo muy elevadas en las zonas rurales.

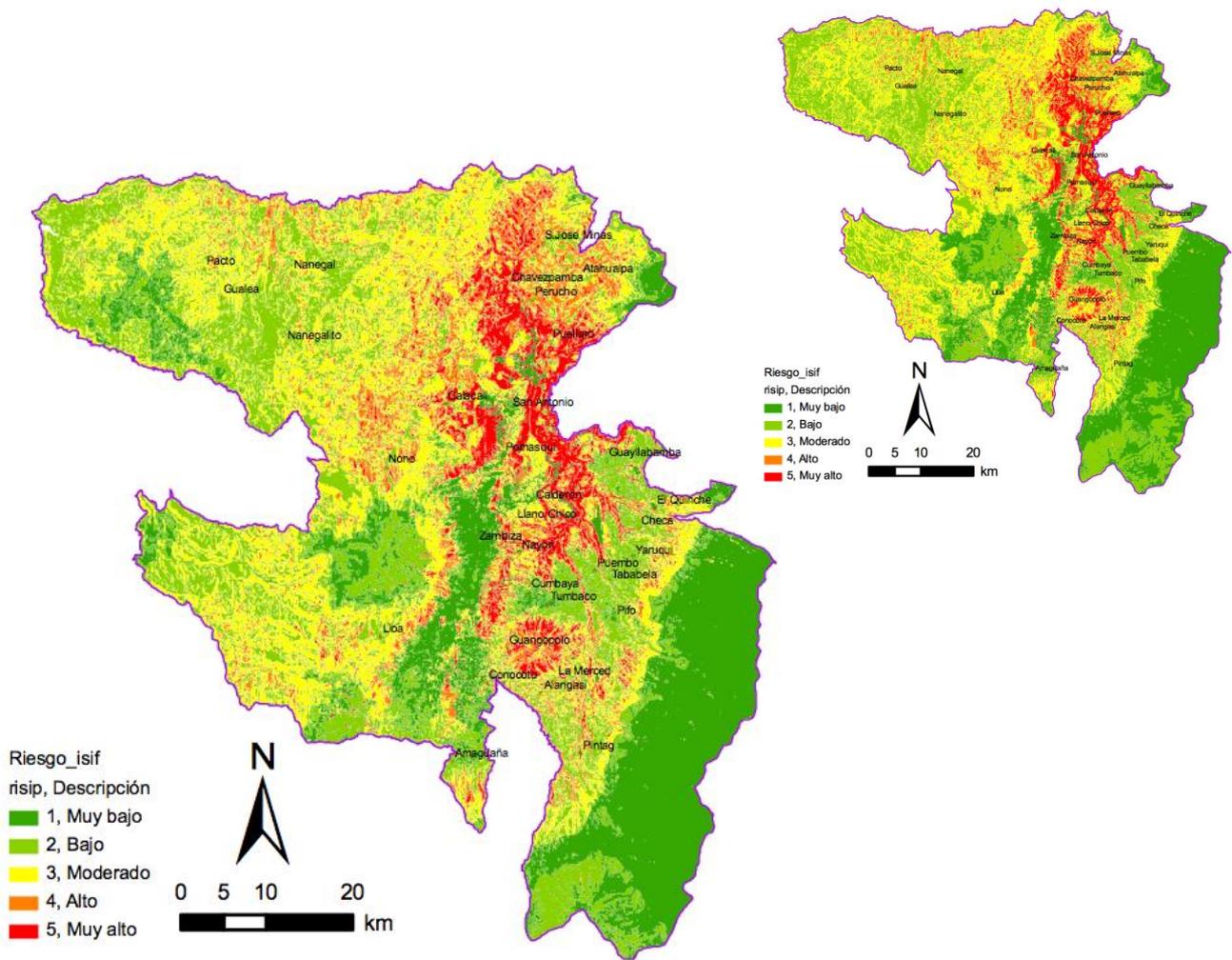


Figura 67 Peligro de incendios forestales basado en predicción de 4 modelos de clima global desde 1900-2015.

Para complementar los escenarios de riesgo de incendios forestales futuros es necesario tomar en cuenta la proyección de la población como un factor de presión que podría cambiar el escenario de peligro. Según datos de la Secretaría de Hábitat y Vivienda (2012), “La tendencia al mayor crecimiento demográfico en las zonas rurales se basa en el crecimiento en las zonas suburbanas (...). Es así que el área urbana enfrenta desventajas debidas a mayor dificultad de tráfico, contaminación, fragmentación parcelaria, falta de legalización de la propiedad del suelo y vivienda, mientras que los sectores suburbanos resultan más atractivos, ya que disponen de un parcelario mayor, buena accesibilidad local y buenas condiciones climáticas”. En efecto, se espera que para el año 2025 exista un crecimiento de 3’080.272 habitantes comparados con la población del último censo 2010 de 2’385.605, es decir con una tasa del 2,2% en la parte urbana y de 4,3% en el área rural. El crecimiento poblacional tendría como consecuencia el cambio de usos de suelo. La pérdida de la cobertura vegetal y el agravamiento de incendios potenciales.

### **29.6.5 CONCLUSIONES RIESGOS FORESTALES**

A escala Distrital se evidencia que el territorio del DMQ presenta una elevada exposición al riesgo de incendios forestales presentes, sobre todo en zonas orientales donde existen muchos proyectos de desarrollo estratégico. En esas áreas están localizados el aeropuerto de Quito, el relleno sanitario, vías estratégicas, poliductos, zonas industriales, zonas agropecuarias y proyectos de abastecimiento de agua, principalmente, además de varios centros poblados con alta densidad demográfica, como es el caso de Tumbaco, Cumbayá, Calderón o Llano Chico (en crecimiento).

Los incendios pueden comprometer no solo a la vegetación natural y por ende a sus frágiles ecosistemas, sino también a la salud de la población y también el funcionamiento normal de equipamientos urbanos estratégicos para la ciudad. En este caso, el DMQ presenta en la actualidad un elevado riesgo a incendios forestales en aproximadamente el 35% de la superficie de su territorio.

En un escenario futuro de riesgos de incendios forestales, considerado solamente a partir de un incremento de los índices de sensibilidad climática al 2050, la tendencia de los riesgos aumenta de forma drástica en Quito y sus alrededores, especialmente hacia las zonas occidentales del Volcán Pichincha, Lloa y Nono. En estas y otras zonas del DMQ podrían agravarse significativamente los siniestros si se toma en cuenta en el modelo predictivo la evolución de la mancha urbana y las dinámicas de presión antropogénica. En cambio, las zonas rurales permanecerían casi en condiciones similares, excepto algunas zonas que experimentarían un incremento de las superficies en riesgo localizadas especialmente en las áreas de transición hacia los páramos y al noroccidente del DMQ.

En general, tanto al presente como al futuro se pueden remarcar condiciones moderadas de riesgos forestales en la mayor parte del territorio del DMQ (43%). Esto quiere decir que las tendencias son estables, pero por efectos antrópicos podrían incrementarse si en los modelos predictivos se consignan estudios de presión antropogénica.

De ahí que para desarrollar estudios más precisos de riesgo forestal se debe considerar:

- Mayor profundidad de los análisis de influencia antropogénica en las zonas de incendios mediante proyecciones de población a futuro, información sobre la movilidad en cuanto a vías, levantamiento de nuevos asentamientos humanos dispersos que no constan en las herramientas de planificación del municipio, y mejoramiento de la georeferenciación de las zonas donde se practican quemas voluntarias como parte de las actividades agrícolas.
- Mejoramiento de los registros históricos de incendios que contemplen indicadores de intensidad, superficie y tipología de los incendios ocurridos. Optimización de la información climática mediante un registro más exacto y a la escala del DMQ, que incluya datos climáticos extremos como días secos consecutivos versus días más húmedos.
- Mejoramiento de los indicadores espaciales de presión a través de otros criterios como la influencia de ciertos proyectos estratégicos y actividades industriales.
- Utilización transversal de esta herramienta en otros sectores del DMQ que permitan mejorar el conocimiento de los riesgos de incendios forestales. Perfeccionamiento del conocimiento de los incendios del Distrito de acuerdo a criterios de microclima, relacionando pisos altitudinales en el DMQ.

## PRINCIPALES CONCLUSIONES SOBRE LA VULNERABILIDAD DEL DMQ EN CINCO SECTORES PRIORITARIOS

Los índices de vulnerabilidad climática de los ecosistemas, las fuentes de agua y las zonas agrícolas del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) varían según su grado de exposición y sensibilidad frente a amenazas no climáticas de origen antrópico y amenazas climáticas como el incremento gradual de la temperatura promedio anual.

El análisis multi-temporal de los cinco sectores priorizados en el estudio evidencia los impactos del cambio climático en el DMQ que presentan varios niveles de vulnerabilidad respondiendo dentro de un proceso participativo a una pregunta específica de cada sector.

El suministro de agua potable de acuerdo a supuestos tomados es moderadamente vulnerable al cambio climático. Los riesgos de incendios forestales son en general moderados y el principal factor para la propagación de fuego no es la variabilidad climática sino el crecimiento de la mancha urbana y la fuerte presión antropogénica.

Los ecosistemas nativos y los bosques de eucalipto y coníferas abarcan más del 71 % del territorio del DMQ, en un rango altitudinal de entre 500 y 4950 metros sobre el nivel del mar (msnm). En un escenario pesimista de emisiones de carbono hacia el año 2050, la evaluación de la vulnerabilidad de los ecosistemas del DMQ frente a la amenaza climática revela que de acuerdo al tipo de área, la vulnerabilidad varía, excepto en el área de páramo que es relativamente alta, en tanto que los bosques húmedos y el ecosistema xerofítico presentan una vulnerabilidad relativamente baja.

Los resultados del análisis cualitativo de exposición y sensibilidad funcional de los ecosistemas indican que la mayor parte del DMQ cubierta por arbustales secos y relictos de bosque seco (69,62%) y bosques húmedos/plantaciones forestales (67,62%) tienen una vulnerabilidad a la amenaza climática relativamente baja (1–2). El xerofítico es el ecosistema más vulnerable a amenazas antrópicas, en tanto que los ecosistemas de páramo y bosque húmedo tropical son los menos vulnerables.

Por otra parte, el análisis del sector agua estima que la demanda de agua potable en el DMQ fue cubierta en un 100% en la década 2000-2010 de acuerdo a supuestos tomados, hecho que demuestra que las cuencas aportantes tienen capacidad para satisfacer la demanda metropolitana actual y su confiabilidad actual del suministro de agua potable del EMAAP-Q es relativamente alta. No obstante, es importante recalcar que los valores estimados de cobertura de agua potable se calculan en función del crecimiento de la población, el incremento en temperaturas y el decremento de fuentes hídricas y zonas de servicio, pero no se consideran otras variables también importantes, como por

ejemplo el crecimiento per cápita y el incremento del consumo diario por persona, entre otros.

El crecimiento urbanístico acelerado a una tasa de 800 ha/año ya está modificando la cobertura vegetal y el uso del suelo en el territorio, ejerciendo cada vez mayor presión sobre los ecosistemas nativos del DMQ. Si bien el sistema de provisión de agua no es particularmente vulnerable al cambio climático con los supuestos tomados y a cambios de uso del suelo, el estudio determina que la cobertura de agua potable del DMQ proyectada al año 2050 podría resultar afectada, sin descartar problemas de abastecimiento en la década 2040-2050.

Simultáneamente, el incremento de la temperatura está propiciando un aumento significativo de áreas de cultivo en los páramos, con el consecuente cambio de usos de suelo y el agravamiento de los riesgos de incendio.

En la actualidad el nivel de riesgo de incendios forestales es moderado en aproximadamente el 43% del territorio del DMQ, y elevado hasta en un 35% del área distrital, sobre todo zonas rurales que registran elevadas temperaturas en verano, poca humedad y fuerte presión antrópica (factores de iniciación y propagación de fuego), como es el caso de Cumbayá, Nayón, Zambiza, Llano Chico, Conocoto, Alangasi o Guangopolo, parroquias situadas al norte y centro del oriente del DMQ.

El análisis del riesgo forestal presente indica que las zonas más vulnerables son las aledañas a Quito (laderas del Pichincha, zonas del suroccidente y estribaciones orientales), así como Nono y Lloa, y las zonas de mayor riesgo en el futuro son Ilaló, Conocoto, Zambiza y La Merced, entre otras localizadas al oriente del DMQ. En un escenario futuro de incendios forestales a partir de un incremento de los índices de sensibilidad climática al 2050, la tendencia de los riesgos aumenta drásticamente en Quito y sus alrededores, agravando el peligro de siniestros en Ilalo, Calacalí, Puellaró, Perucho, Llano Chico, Calderón, Nayón y ciertas zonas muy puntuales de Calacali, Nono y Lloa, entre otras.

Se prevé también que los cultivos en el DMQ experimenten en cierto grado los efectos del incremento de las temperaturas promedio. Dependiendo del tipo de cultivo, su ubicación y del escenario climático, las alteraciones de temperaturas podrían beneficiar o perjudicar a los cultivos.

Respecto al nivel de sensibilidad por efecto de temperatura, el estudio determina que las asociaciones de cultivos de Aguacate-Chirimoya-Frutales (Ag-Ch-Fr), Caña de Azúcar-Frutales-Maíz (Ca-Fr-Ma) y Frutales - Caña de Azúcar -Palmito (Fr-Ca-Pa) presentan una sensibilidad “baja”; en tanto que las asociaciones Frutales-Maíz-Cultivos de Ciclo Corto (Fr-Ma-CC), Maíz-Fréjol (Ma-Fj), Maíz-Fréjol-Habas-Hortalizas (Ma-Fj-Ha-Hc) y CC-Ma-Fj

muestran un nivel de sensibilidad “medio”. Reportan un nivel de sensibilidad “alto” las asociaciones Papa-Haba-Maíz-Pastos (Pa-Ma-Ha-Pas), Papa-Maíz-Pastos (Pa-Ma-Pas) y CC-Ma-Fr.

Las tres zonas agrícolas identificadas en el estudio se verán afectadas por la variación climática en diferente grado, según el tipo de cultivo y su elevación sobre el nivel del mar. El nivel de sensibilidad a la temperatura será positivo en algunos casos, como por ejemplo el maíz de verano, que podría resultar beneficiado por el incremento de la temperatura promedio. De manera contraria, la soya podría ser impactada negativamente.

La preocupación principal es que a medida que las temperaturas medias anuales se incrementen se ampliarán las áreas de cultivo en muchas de las zonas altas de los páramos que actualmente son demasiado frías. De ahí que no se descarta una expansión importante de los cultivos de papa en los páramos, es decir en un área de 485 km<sup>2</sup> de superficie, o en el 11.5% de la superficie del DMQ. Es imposible predecir cuánto se expandirá la frontera agrícola, pero es casi seguro que los páramos enfrentarán una amenaza significativa debido al crecimiento de la mancha urbana y el avance de los cultivos de papa.

Las parroquias con mayor vulnerabilidad dentro del sector salud corresponden a las que se ubican en la zona Noroccidental del DMQ debido a las condiciones socioeconómicas y su respectivo índice de amenaza climática que es relativamente alto en comparación con otras regiones y en relación a las enfermedades respiratorias. La zona urbana de Quito tiene un nivel de vulnerabilidad moderada pero con la posibilidad de incrementar en el caso de eventos climáticos extremos.

Como se ve, el índice de vulnerabilidad climática del Distrito es resultado de las complejas interacciones de los sectores agua, salud, agricultura, ecosistemas y riesgos de incendios, por lo que cabe inferir que sólo con una acción colectiva en estos frentes será posible enfrentar las amenazas climáticas y antrópicas que se ciernen sobre el territorio y que con seguridad acentuarán la fragilidad del DMQ hacia el año 2050.

## BIBLIOGRAFIA

Castillo M.; (2005); Incendios Forestales y Medio Ambiente, Una síntesis global; Universidad de Chile.

Chimborazo, Oscar, and Silvana Guitarra. 2010. "Escenarios de cambio climático con las salidas del modelo TL-959". Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - Ministerio del Ambiente.

Chuvieco E., Martín M.; (2004); Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales; Madrid España.

CIIFEN. (19 de Enero de 2014). Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño. Recuperado el 19 de Enero de 2014, de <http://www.ciifen.org/>: <http://goo.gl/ArLOLn>

Edwards, Guy. 2012. "La Política de Cambio Climático En Ecuador | Intercambio Climático." [http://www.intercambioclimatico.com/2012/03/29/la-politica-de-cambio-climatico-en-ecuador/#\\_edn2](http://www.intercambioclimatico.com/2012/03/29/la-politica-de-cambio-climatico-en-ecuador/#_edn2).

EMAAP-Q, PRO. 2005. "Estudios Hidrológicos a Nivel de Prefactibilidad Del Proyecto de Agua Potable Ríos Orientales. Quito."

Ercole, Robert d', Quito (Ecuador), and Institut de recherche pour le développement (France). 2004. La Vulnerabilidad Del Distrito Metropolitano de Quito. Colección Quito Metropolitano 23. Quito, Ecuador: Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Dirección Metropolitana de Territorio y Vivienda: Institut de Recherche pour le Développement.

Estacio, Jairo y Narváez, Nixon, 2012. Incendios forestales en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ): Conocimiento e intervención pública del riesgo. Revista Letras Verdes No. 11.

Fernandez, Andres. 2009. "GUIA METODOLÓGICA MODELACIÓN HIDROLÓGICA Y DE RECURSOS HÍDRICOS CON EL MODELO WEAP." [http://www.weap21.org/downloads/Guia\\_modelacion\\_WEAP\\_Espanol.pdf](http://www.weap21.org/downloads/Guia_modelacion_WEAP_Espanol.pdf).

Folke, C. C. (2004). Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 557–581.

Haines, A., Kovats, R. S., Campbell-Lendrum, D. y Corvalan, C. (2006). Climate change and human health: Impacts, vulnerability and public health. *Public Health*, 120, 585–596.

Hazen and Sawyer. 2009. "Plan Maestro Integrado de Agua Potable Y Alcantarillado Para El Distrito Metropolitano de Quito". Preparado para EMAAP-Q y Alcandía Metropolitana de Quito.

Hazen, and Sawyer. 2013. "Informe de Estudios Basicos - EMAAP-Q. Sección 2: Planificación urbana y rural (Draft)."

Hinkel, Jochen. 2011. "Indicators of Vulnerability and Adaptive Capacity: Towards a Clarification of the Science-policy Interface." *Global Environmental Change* 21 (1): 198–208. doi:10.1016/j.gloenvcha.2010.08.002.

IFA-MDMQ. (2007). DMQ, Ambiente y Salud. Proyecto Piloto de "Valoración del Impacto en salud en el DMQ". Quito, Ecuador: Fondo Ambiental.

INEC. (2010a). Anuario de Estadísticas Hospitalarias. Camas y Egresos 2010. Quito, Ecuador.

INEC. (2010b). Censo de Población y Vivienda 2010. Quito, Ecuador.

Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. *Climate Change 2001 – IPCC Third Assessment Report*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. [http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_tar/](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/).

IPCC, (2012); Special report of the intergovernmental panel on climate change; Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation; Cambridge University Press.

Josse, C., Navarro, G., Comer, P., Evans, R., Faber-Langendoen, D., Fellows, M., . . . Teague, J. (2003). *Ecological systems of Latinamerica and the Caribbean: A working classification of terrestrial systems*. Arlington, Estados Unidos: NatureServe.

Link, B. y Phelan, J. (1995). Social Conditions as Fundamental Causes of Disease. *Journal oh Health and Social Behavior*, 35, 80-94.

Lomeña R.; (2009); Los Incendios forestales y el cambio climático; España.

MDMQ. (2011). Plan de desarrollo 2012-20122. Quito: MDMQ.

MDMQ-Secretaría de Ambiente. (2011). Memoria Técnica del Mapa de Cobertura Vegetal del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Quito: Manthra Editores.

MECN. (2009). Capitulo I Introducción. En MECN, *Ecosistemas del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)* (págs. 1-51). Quito: Serie de Publicaciones del Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (MECN) - Fondo Ambiental del MDMQ.

Ministry of the Environment. 2000. "National Communication Republic of Ecuador - Climate Change." <http://unfccc.int/resource/docs/natc/ecunc1.pdf>.

Mizuta R. et al. 20-km-Mesh Global Climate Simulations Using JMA GSM Model, Mean Climate States. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 84:165–185, 2006.

Morin, C. W., Comrie, A. C. y Ernst, K. (2013). Climate and Dengue Transmission: Evidence and Implications. *Environmental Health Perspectives*, 121, 1264-1272.

Moreno J.M., Rodríguez I., Zabala G., Martín M.; (2009); Cambio climático y riesgos de incendios forestales en Castilla – La Mancha; Departamento de Ciencias Ambientales – Facultad de Ciencias del Medio ambiente; Toledo España.

Naciones Unidas, FAO; (1996-2000); Forest products statistics; Timber Bulletin; Geneva Switzerland.

Narváez, N. (2014). Gestión del Conocimiento e Información Ambiental. Secretaría de Ambiente MDMQ. Quito, Ecuador.

Noticias Del Ecuador Y Del Mundo | EL COMERCIO. 2010. <http://ww1.elcomercio.com/>.

Pouget, et al. 2013. "Compartir Los Recursos Hídricos En Los Andes. Parte 1: Modelos Oferta-Demandas En Las Cuencas de Quito (Ecuador)."

RAE. (16 de Octubre de 2001). Acerca de vulnerabilidad: Real Academia Española. Recuperado el 17 de Diciembre de 2013, de Real Academia Española: <http://lema.rae.es/drae/?val=vulnerabilidad>

Rowlingson, K. (2011). Does income inequality cause health and social problems? York, UK: University of Birmingham.

Schvoerer, E., Massue, J.-P., Gut, J.-P. y Stoll-Keller, F. (2008). Climate Change: Impact on Viral Diseases *The Open Epidemiology Journal*, 1, 53-56.

Secretaria de Ambiente Quito. 2011. "Mapa de Cobertura Vegetal."

Serrano, José, 2011. Regionalización espacial de series climáticas mensuales caso de estudio: Cuenca del río Guayllabamba, Tesis Ingeniería Civil y Ambiental. EPN.

Sieber, J, and David Purkey. 2011. "WEAP Water Evaluation And Planning System USER GUIDE". 2011. [http://www.weap21.org/downloads/WEAP\\_User\\_Guide.pdf](http://www.weap21.org/downloads/WEAP_User_Guide.pdf).

Sierra, R. (Ed.). (1999). Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. Quito, Ecuador: Proyecto INEFAN/GEF-BIRG/ECOCIENCIA.

Tanser, F. C., Sharp, B. y Sueur, D. I. (2003). Potential effect of climate change on malaria transmission in Africa. *Lancet*, 362, 1792–1798.

Tremblay-Boyer, L., & Anderson, E. (2007). A preliminary assessment of ecosystem vulnerability to climate change in Panama. Technical Report of Senior Research Project. Panamá: McGill University, CATHALAC, and the Smithsonian Tropical Research Institution.

Vega, J. (2011). Steps toward towards the health equity agenda in Chile. Paper presented at the World Conference on Social Determinants of Health, Rio de Janeiro, Brasil.

Verduga, L., V. Zak y M. Guevara. 2007. “Mapa de Ecosistemas Y Uso Del Suelo En El Área de Influencia Del FONAG”. The Nature Conservancy.

Villacís, M., et al. 2012. “Impactos Del Cambio Climático En El Sector Agua Durante Los Últimos 30 Años E Identificación de Los Aspectos Que Constituyen La Vulnerabilidad.” Estudio de Vulnerabilidad del DMQ.

Walker, B., Holling, C., Carpenter, S., & Kinzing, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2), 5 [online] <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/>.

WHO. (2008). Protecting Health from Climate Change. World Health Day 2008. Geneva, Switzerland: WHO.

WorldClim. (2014). WorldClim - Global Climate Data. Free climate data for ecological modeling and GIS. <http://www.worldclim.org/>

Zambrano-Barragán. 2009. “Estrategia Quiteña al Cambio Climático: Respuesta local frente a un desafío global.”

## Anexos

### ANEXO 1 – Matriz “óptima” Sector Ecosistemas

Matriz originalmente propuesta por el MDMQ como herramienta de conocimiento participativo sectorial (HCP). Las preguntas escogidas se indican con letras rojas.

		<b>Ecosistemas</b>			
Ambitos	Datos	Unidades de análisis sobre el estado de las siguientes categorías de ecosistemas: Arbustales secos y relictos de bosque seco, Vegetación paramuna, Bosques húmedos y plantaciones forestales, Arbustos húmedos y vegetación en regeneración			
		Amenazas antrópicas (mancha urbana, vías, canteras, frontera agrícola, incendios,...)	Amenaza climática	Amenaza climática compuesta (sequías, heladas, vendavales)	Relación con la amenaza morfoclimática (inundaciones, deslizamientos de origen socio natural)
Sociodemográficos	Tasa de crecimiento de la población, nivel de sector censal - nivel de parroquia	Cómo influye la tasa de crecimiento a nivel parroquial en la deforestación y en la extensión de la frontera agrícola y como esto genera presión en los ecosistemas?			Deslizamientos, relación indirecta con deforestación, consecuencia de deforestación
Económico	Aviturismo como sector económico	Cómo impactan las amenazas antrópicas en el aviturismo (bosques húmedos y páramos)	Cómo impactan las amenazas climáticas sobre las aves que migran a sitios más altos por cambio de su hábitat	Cómo impactan las amenazas climáticas compuestas en el aviturismo (bosques húmedos)	
Ambiental	Quebradas de protección ecológica	Cómo las amenazas antrópicas en quebradas de protección ecológica generan un conflicto y presión en los ecosistemas (bosques y arbustos húmedos)	Cuáles son los impactos de las amenazas climáticas en quebradas intervenidas por procesos urbanos (colectores) dentro de los ecosistemas		Como resultado de amenazas antrópicas
	Áreas de conservación	Cuál es el impacto de la minería en las áreas de conservación (relación con biodiversidad)	Cuál es el impacto de las amenazas climáticas sobre las áreas de conservación (relación a biodiversidad)/Cómo varían estas áreas por efectos de amenazas climáticas. Dos escalas: cobertura vegetal y cambio del uso del suelo por variables climáticas.	Cuál es el impacto de las amenazas climáticas compuestas sobre las áreas de conservación (relación a biodiversidad)	Cuál es el impacto de los deslizamientos sobre las áreas de conservación (relación a biodiversidad)
	Áreas de recuperación	Cuál es el impacto de las amenazas antrópicas en las áreas de recuperación	Cuál es el impacto de las amenazas climáticas en las áreas de recuperación	Cuál es el impacto de las amenazas climáticas compuestas en las zonas de recuperación	Qué áreas en zonas de recuperación de las unidades de análisis pueden ser afectadas por deslizamientos
	Cobertura vegetal (escala amplia, incl. cambio uso del suelo no antroponico)	Cómo las amenazas antrópicas generan impactos/cambios sobre la cobertura vegetal	Cómo las amenazas climáticas generan impactos/cambios sobre la cobertura vegetal	Qué impactos pueden generar las amenazas climáticas compuestas sobre la cobertura vegetal	Qué impactos pueden generar las amenazas morfoclimáticas sobre la cobertura vegetal
	Unidades de uso especial (derechos de vía, tendido eléctrico, hidroeléctricas, poliductos, oleoductos)	Cómo se potencializan los impactos en los ecosistemas causados por unidades de uso especial por la existencia de las amenazas antrópicas			Si las unidades de uso especial son afectadas por deslizamientos como impactan a los ecosistemas?
	Biodiversidad	Cómo incendios/deforestación afectan a la biodiversidad	Cuál es el impacto de las amenazas climáticas en la distribución espacial de orquídeas, anuros, aves...	Cuál es el impacto de las amenazas climáticas compuestas en la distribución espacial de orquídeas, anuros, aves...	
			urbano		
			rural		
			periurbano-rural		
			Todo el DMQ		

ANEXO 2 – Sector Ecosistemas Recomendaciones para mejorar la calidad y cantidad de la información disponible con el fin de evaluar más objetivamente la vulnerabilidad al cambio climático de los ecosistemas. En este Anexo se muestra algunas de las potenciales variables operativas que deberían ser medidas para comprender la compleja interacción entre la dinámica de ecosistemas y el clima. Algunas de estas variables formaron ya parte del cálculo del índice de vulnerabilidad presentado. De ninguna manera debe considerarse a esta lista como exhaustiva.

Área de la ciencia	Variable y definición
- Climatología	<i>Espacio climático.</i> - Es la relación entre las tendencias climáticas históricas y futuras en un área de paisaje dada.
	<i>Área expuesta.</i> - Es la superficie de un paisaje expuesto a una anomalía climática.
-Ecología paisajes	<i>Área del fragmento.</i> - Es la superficie de un fragmento de un ecosistema.
	<i>Área total del ecosistema.</i> - Es la sumatoria de las superficies de los fragmentos de un ecosistema.
	<i>Área total del paisaje.</i> - Es la superficie de todo el territorio representado.
	<i>Área núcleo del fragmento.</i> - Es la superficie del hábitat interior de un fragmento de un ecosistema.
	<i>Área total del núcleo.</i> - Es la sumatoria de las áreas núcleo de los fragmentos de un ecosistema.
	<i>Geometría del fragmento.</i> - Es un índice matemático que representa cuantitativamente la forma, área y borde de un fragmento de un ecosistema.
	<i>Número de fragmentos.</i> - Es el número total de fragmentos de un ecosistema, o de todo el paisaje.
	<i>Densidad de fragmentos.</i> - Es el número de fragmentos, del ecosistema o del paisaje, que existen en una superficie dada de territorio.

Área de la ciencia	Variable y definición
	<i>Borde del fragmento.</i> - Es el perímetro de un fragmento de un ecosistema (un estimado del tamaño del ecotono).
	<i>Borde total del ecosistema.</i> - Es la sumatoria de los perímetros de los fragmentos de un ecosistema.
	<i>Distancia del vecino más cercano.</i> - Es la distancia entre un fragmento y el fragmento más cercano del mismo ecosistema.
	<i>Distancia del vecino más lejano.</i> - Es la distancia entre un fragmento y el fragmento más lejano del mismo ecosistema.
	<i>Proximidad.</i> - Es la distancia entre un fragmento y otro del mismo ecosistema, a partir de un determinado radio de búsqueda.
-Ecología de ecosistemas (incluye hidrología, edafología y afines)  -Ecofisiología vegetal	<i>Tasa de transpiración.</i> - Es el flujo de agua que se transporta desde el suelo hacia la atmósfera por los vasos conductores de una planta. A nivel de ecosistema, se representa por las mediciones hechas en especies representativas, o se puede medir directamente con instrumentación especializada.
	<i>Tasa de producción primaria (productividad primaria).</i> - Es la tasa de producción de biomasa en un tiempo determinado. La tasa de producción primaria bruta (PPB) incluye el consumo de biomasa por respiración (R), mientras que la tasa de producción primaria neta (PPN) es igual a la tasa de PPB menos los flujos de pérdidas de biomasa por R. PPB puede estimarse indirectamente desde estimaciones de PPN Y R, o directamente a través de mediciones de tasas fotosintéticas en especies representativas de un ecosistemas.
	<i>Tasa de evaporación del suelo.</i> - Es el flujo de agua que se evapora desde el suelo a la atmósfera en un área de suelo dada.
	<i>Tasa de evapotranspiración.</i> - Es la suma de la tasa de transpiración, la tasa de evaporación del suelo, y otros flujos de agua por evaporación, en un ecosistema.

Área de la ciencia	Variable y definición
	<i>Potencial hídrico.</i> - Es la medida del potencial de agua en una parte de una planta (usualmente las hojas). A nivel de ecosistema, se representa por las mediciones hechas en especies representativas.
	<i>Contenido de agua del suelo.</i> - Es el contenido volumétrico o gravimétrico de agua a diferentes profundidades del suelo.
	<i>Concentración de sales del suelo.</i> - Es la conductividad eléctrica promedio de muestras de suelo provenientes de áreas representativas del ecosistema.
	<i>Concentración de macro- y microelementos del suelo.</i> - Es el cantidad de minerales disponibles en el suelo.
	<i>Concentración de carbono orgánico e inorgánico del suelo.</i> - Es la cantidad de carbono en el suelo, sea éste de origen orgánico (de materia orgánica) o inorgánico.
-Ecología -Biología de la conservación	<i>Distribución geográfica observada y potencial de una especie.</i> - La distribución geográfica observada es el área donde una especie ocurre al presente, mientras que la distribución geográfica potencial es el área donde un especie ocurre o podría ocurrir según lo determinado por un modelo.
	<i>Síndrome de dispersión.</i> - Es el síndrome de dispersión de una especie.
	<i>Capacidad de dispersión.</i> - Es la capacidad de dispersión de la diáspora de una especie.
	<i>Polinización.</i> - Es el tipo y abundancia de polinizadores que tiene una especie.
	<i>Genética.</i> - Es el nivel de diversidad genética que tiene una especie.
	<i>Barreras geográficas.</i> - Son los accidentes geográficos que limitan la distribución geográfica de una especie.

Área de la ciencia	Variable y definición
	<i>Fenología.</i> - Son los patrones temporales de las fases de floración, fructificación y producción de hojas de una especie.
	<i>Hábitat.</i> - Es el tipo de ecosistema(s) en los que ocurre una especie.
	<i>Habito.</i> - Es la forma de crecimiento de una especie (árbol, liana, arbusto, hierba, complementado con el tipo de sustrato donde crece, e.g. terrestre, epífita, hemiepífita, acuática, etc.).
	<i>Nivel de protección.</i> - Indica si la especie ocurre o no dentro de un área protegida.
	<i>Número de poblaciones.</i> - Es el número de poblaciones conocidas de una especie en un área determinada.
	<i>Categoría de amenaza de la UICN.</i> - Es la categoría de amenaza según los criterios de la UICN.
-Sensores remotos	<i>Análisis espectral.</i> - Es el análisis espectral de la radiación absorbida, reflejada y transmitida por las hojas de las especies en un ecosistema.